

Міністерство освіти і науки України
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

ВОЙЦЕШКО Сергій Володимирович

**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ЗБОРУ ТА ОПРАЦЮВАННЯ
ДАНИХ НА БАЗІ МУЛЬТИСЕНСОРНИХ ВУЗЛІВ У
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБАХ / AUTOMATED DATA COLLECTION
AND PROCESSING SYSTEM BASED ON MULTISENSOR NODES IN
VEHICLES**

Спеціальність 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

Випускна кваліфікаційна робота за ступенем вищої освіти "бакалавр"

Виконав студент групи АКІТ-41
С.В. Войцешко

Науковий керівник:
д.т.н., проф. Н.Я. Возна

Дипломну роботу допущено до захисту:
"___" _____ 20___ р.

Завідувач кафедри
_____ А.І.Сегін

Тернопіль 2026

Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Ступінь вищої освіти "бакалавр"
Спеціальність: 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри СКС

_____ А.І.Сегін

“ ____ ” _____ 20__ р.

З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
ВОЙЦЕШКО Сергій Володимирович

_____ (прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема роботи

_____ Автоматизована система збору та опрацювання даних на базі
_____ мультисенсорних вузлів у транспортних засобах / Automated data collection and
_____ processing system based on multisensor nodes in vehicles _____

_____ керівник роботи _____ д.т.н., проф. Н.Я. Возна _____

затверджені наказом по університету від "01" грудня 2025 р. № 894

2. Строк подання студентом закінченої дипломної роботи 25 травня 2026р.

3. Вихідні дані до роботи:

_____ 1. Дані інерційного модуля (IMU), що включають лінійні прискорення та кутові
_____ швидкості за трьома осями _____

_____ 2. Навігаційні дані GPS-модуля _____

_____ 3. Сигнали датчиків швидкості обертання коліс _____

_____ 4. Дані датчиків навколишнього середовища (температура, атмосферний тиск,
_____ вологість _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

_____ 1. Аналіз сенсорних технологій у транспортних засобах _____

_____ 2. Проектування архітектури та алгоритму автоматизованої системи збору та
_____ обробки даних _____

_____ 3. Реалізація автоматизованої системи збору та обробки даних на базі
_____ мультисенсорних вузлів _____

5. Перелік графічного матеріалу у роботі

_____ 1. Архітектура автоматизованої системи збору та обробки даних у транспортних _____

засобах

2. Схема алгоритму роботи автоматизованої системи збору та обробки даних

3. Структурна схема автоматизованої системи збору та обробки даних

4. Схема злиття сенсорних даних на основі алгоритмів Sensor Fusion

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Возна Н.Я.		
2	Возна Н.Я.		
3	Возна Н.Я.		

7. Дата видачі завдання 01 грудня 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз сенсорних технологій у транспортних засобах	01.12.2025р. – 15.01.2026р.	
2	Проектування архітектури та алгоритму автоматизованої системи збору та обробки даних	16.01.2026р. – 15.03.2026р.	
3	Реалізація автоматизованої системи збору та обробки даних на базі мультисенсорних вузлів	16.03.2026р. – 30.04.2026р.	
4	Оформлення кваліфікаційної роботи та її подача для перевірки на ознаки плагіату	01.05.2026р. – 25.05.2026р.	

Студент

(підпис)

С.В.Войцешко

Керівник роботи

(підпис)

д.т.н., проф. Н.Я. Возна

АНОТАЦІЯ

Войцешко С.В. Автоматизована система збору та опрацювання даних на базі мультисенсорних вузлів у транспортних засобах. – Рукопис.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійна програма. – Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2026.

Кваліфікаційна робота присвячена розробленню автоматизованої системи збору та обробки даних на базі мультисенсорних вузлів у транспортних засобах. У роботі запропоновано архітектуру системи, що поєднує сенсорний, обчислювальний та комунікаційний рівні, а також обґрунтовано вибір основних датчиків і мікроконтролера. Розроблено алгоритми попередньої фільтрації та злиття сенсорних даних з метою підвищення точності й достовірності вимірювальної інформації. Виконано моделювання роботи системи у середовищі VisSim, що підтвердило ефективність запропонованих рішень та можливість їх практичного застосування в сучасних транспортних інформаційних і керуючих системах.

Ключові слова: мультисенсорна система, збір та обробка даних, сенсорні вузли, злиття даних (sensor fusion), мікроконтролерні системи, транспортні засоби.

ABSTRACT

Voitseshko S.V. Automated system for data acquisition and processing based on multisensor nodes in vehicles. – Manuscript.

Qualification work submitted for obtaining the Bachelor's degree in specialty 151 "Automation and Computer-Integrated Technologies", educational and professional program. – West Ukrainian National University, Ternopil, 2026.

The qualification work is devoted to the development of an automated system for data acquisition and processing based on multisensor nodes in vehicles. The paper proposes a system architecture that integrates sensor, computational, and communication levels, and substantiates the selection of key sensors and a microcontroller. Algorithms for preliminary filtering and sensor data fusion have been developed in order to improve the accuracy and reliability of measurement information. The system operation was modeled in the VisSim environment, which confirmed the effectiveness of the proposed solutions and their applicability in modern automotive information and control systems.

Keywords: multisensor system, data acquisition and processing, sensor nodes, sensor fusion, microcontroller systems, vehicles.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	6
ВСТУП	7
1. АНАЛІЗ СЕНСОРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБАХ	10
1.1 Технологія Mobileye EyeQ - платформа обробки даних мультисенсорних систем.....	11
1.2. Мультисенсорні вузли та їх класифікація.....	14
1.3. Системи ADAS у сучасних транспортних засобах.....	16
1.4. Стандарти та вимоги до функціональної безпеки сенсорних систем у транспортних засобах.....	21
2. ПРОЄКТУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ ТА АЛГОРИТМУ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЗБОРУ ТА ОБРОБКИ ДАНИХ.....	24
2.1 Побудова архітектури системи.....	24
2.2. Вибір сенсорних вузлів та мікроконтролера	26
2.3 Алгоритм збору та опрацювання даних	31
3. РЕАЛІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЗБОРУ ТА ОБРОБКИ ДАНИХ НА БАЗІ МУЛЬТИСЕНСОРНИХ ВУЗЛІВ	35
3.1 Розроблення структурної схеми автоматизованої системи збору та обробки даних на базі мультисенсорних вузлів	35
3.2 Вибір і підключення датчиків	38
3.3. Реалізація алгоритмів фільтрації та злиття даних.....	48
3.4. Моделювання та макетування роботи системи.....	52
ВИСНОВКИ.....	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	57
ДОДАТКИ.....	60

					ДП.АКІТ.10659818.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Войцешко С.В.			Автоматизована система збору та опрацювання даних на базі мультисенсорних вузлів у транспортних засобах / Automated data collection and processing system based on multisensor nodes in vehicles	Лім.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Возна Н.Я.					5	59
Консульт.		Возна Н.Я.				ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41		
Н. Контр.								
Затверд.		Сегін А.І.						

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ADAS - advanced driver assistance systems (система допомоги водієві);
ABS - anti-lock braking system (антиблокувальна система гальм);
ESC (ESP) - electronic stability control (система електронної стабілізації);
EBD - electronic brakeforce distribution (система розподілу гальмівних зусиль);
TCS - traction control system (система контролю тяги);
AYC - active yaw control (система активного контролю руху);
IMU - inertial measurement unit (інерційний вимірювальний модуль);
GPS - global positioning system (глобальна система позиціонування);
GNSS - global navigation satellite system (глобальна навігаційна супутникова система);
MCU (МК) - microcontroller unit (мікроконтролер);
MEMS (MEMC) - micro-electro-mechanical systems (мікроелектромеханічні системи);
I²C - inter-integrated circuit (послідовний інтерфейс передачі даних);
SPI - serial peripheral interface (послідовний периферійний інтерфейс);
UART - universal asynchronous receiver-transmitter (асинхронний інтерфейс);
CAN - controller area network (контролерна мережа);
V2X - vehicle-to-everything (взаємодія транспортного засобу з середовищем);
V2V - vehicle-to-vehicle (зв'язок між транспортними засобами);
V2I - vehicle-to-infrastructure (зв'язок з інфраструктурою);
ASIL - automotive safety integrity level (рівень автомобільної безпеки);
LPF - low pass filter (фільтр нижніх частот).

					ДП.АКІТ. 10659818.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВСТУП

В умовах стрімкого розвитку інтелектуальних транспортних систем та зростання вимог до безпеки, надійності й ефективності експлуатації транспортних засобів особливої актуальності набуває використання автоматизованих систем збору та обробки даних на базі мультисенсорних вузлів. Сучасні транспортні засоби оснащуються великою кількістю датчиків, що реєструють параметри руху, стану агрегатів і умов навколишнього середовища. Проте ефективне використання цієї інформації можливе лише за умови її інтеграції, фільтрації та інтелектуальної обробки. Саме тому актуальним є розроблення мультисенсорних систем, здатних не тільки збирати вимірювальні дані, а й забезпечувати їх злиття та формування узагальнених оцінок стану транспортного засобу в режимі реального часу. Такий підхід відповідає сучасним тенденціям розвитку систем ADAS, Car-to-X та інтелектуальних сенсорних мереж у транспортній галузі [1-5].

Актуальність теми дослідження зумовлена також необхідністю підвищення рівня функціональної безпеки, точності вимірювань і стійкості роботи автоматизованих систем в умовах завад, шумів та нестабільності окремих сенсорних каналів. Використання алгоритмів попередньої фільтрації та злиття сенсорних даних дозволяє зменшити вплив похибок вимірювань, підвищити достовірність інформації та створити основу для побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень у транспортних засобах. У цьому контексті розроблення автоматизованої системи збору та обробки даних на базі мультисенсорних вузлів є важливим і перспективним науково-практичним завданням.

Метою даної роботи є розроблення архітектури автоматизованої системи збору та обробки даних на базі мультисенсорних вузлів у транспортних засобах, а також розроблення алгоритмів попередньої фільтрації та злиття сенсорних даних для підвищення точності й надійності оцінювання параметрів руху та стану транспортного засобу.

					ДП.АКІТ. 10659818.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Для досягнення поставленої мети у роботі необхідно розв'язати такі основні задачі:

- проаналізувати сучасні підходи до побудови мультисенсорних систем у транспортних засобах та принципи їх функціонування;
- розробити архітектуру автоматизованої системи збору та обробки даних із урахуванням сенсорного, обчислювального та комунікаційного рівнів;
- обґрунтувати вибір сенсорних вузлів і мікроконтролера для реалізації системи;
- розробити алгоритм збору, попередньої обробки та злиття сенсорних даних;
- виконати моделювання роботи системи у середовищі VisSim та проаналізувати отримані результати;
- оцінити ефективність запропонованих рішень з точки зору точності та можливості практичного застосування.

Об'єктом дослідження є автоматизовані системи збору та обробки інформації в транспортних засобах на основі сенсорних та мультисенсорних технологій.

Предметом дослідження є методи та алгоритми фільтрації і злиття сенсорних даних, а також архітектурні та структурні рішення побудови автоматизованої мультисенсорної системи для оцінювання параметрів руху та стану транспортного засобу.

Практичне значення одержаних результатів полягає в можливості їх безпосереднього використання під час проектування та створення прототипів автоматизованих систем збору та обробки даних для транспортних засобів. Запропонована архітектура мультисенсорної системи, схема підключення датчиків до мікроконтролера та розроблені алгоритми попередньої фільтрації і злиття сенсорних даних можуть бути використані при розробленні бортових інформаційних систем, систем моніторингу стану транспортного засобу, а також у складі систем допомоги водієві (ADAS). Результати моделювання в

					ДП.АКІТ. 10659818.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

середовищі VisSim підтверджують ефективність запропонованих рішень і можуть слугувати основою для подальшої апаратної реалізації системи Крім того, матеріали роботи можуть бути використані в навчальному процесі при вивченні дисциплін, пов'язаних з автоматизацією, сенсорними системами та комп'ютерно-інтегрованими технологіями.

Апробація. Автоматизована система визначення положення / Володимир Буяр, Сергій Войцешко, Оксана Бурлак, Наталія Возна/ Збірник матеріалів всеукраїнської науково-практичної конференції «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (АКІТ - 2026). - Тернопіль, 2026. – С.107-110.

					ДП.АКІТ. 10659818.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1. АНАЛІЗ СЕНСОРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБАХ

Розвиток сучасних транспортних засобів нерозривно пов'язаний із широким упровадженням сенсорних технологій, які забезпечують моніторинг технічного стану автомобіля, параметрів руху та зовнішнього середовища. Якщо на початкових етапах автомобільні датчики виконували локальні функції контролю окремих вузлів (тиск у шинах, температура охолоджувальної рідини, оберти двигуна), то нині відбувається перехід до інтегрованих мультисенсорних систем, орієнтованих на комплексну підтримку процесів керування транспортним засобом.

Сенсорні технології стали ключовим елементом підвищення безпеки, економічності та екологічності автомобільного транспорту. Сучасні транспортні засоби обладнуються десятками та навіть сотнями датчиків різної фізичної природи: інерційними сенсорами, датчиками тиску та швидкості, радіолокаційними й оптичними пристроями, а також елементами супутникової навігації. Такі датчики формують розподілені сенсорні вузли, що забезпечують збирання вимірювальної інформації в реальному часі та її подальшу обробку на рівні бортових обчислювальних систем.

Важливою тенденцією останніх років є перехід від окремих сенсорів до мультисенсорних вузлів і мереж, у яких дані різних типів та різного походження поєднуються та аналізуються спільно. Застосування принципів злиття даних дає можливість підвищити достовірність оцінювання стану транспортного засобу, зменшити вплив похибок окремих датчиків і реалізувати функції інтелектуальної підтримки керування. Саме на базі таких рішень розвиваються системи розширеної допомоги водієві (ADAS - Advanced Driver Assistance Systems - розширені системи допомоги водієві) та елементи автономного керування [1-5].

					ДП.АКІТ. 10659818.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

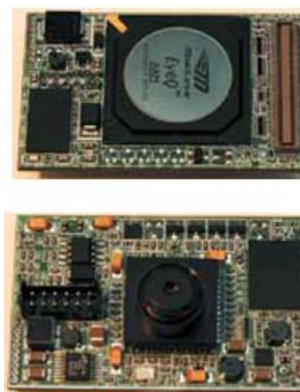
1.1 Технологія Mobileye EyeQ - платформа обробки даних мультисенсорних систем

Одним із найвідоміших та технологічно розвинених рішень у сфері систем розширеної допомоги водієві (ADAS) є платформа Mobileye EyeQ [6]. Вона являє собою сімейство спеціалізованих відеопроцесорів, призначених для виконання інтенсивних обчислень, пов'язаних із обробкою зображень та даних від сенсорних вузлів транспортного засобу. На основі цих процесорів компанією Mobileye також розроблено обчислювальні платформи Mobileye SeeQ, які використовуються в складних бортових системах безпеки.

Перші покоління Mobileye EyeQ реалізовували концепцію «відеосистеми на кристалі» (Vision-system-on-a-chip), поєднуючи засоби приймання відеосигналів, їх попередньої обробки та алгоритми машинного зору. Процесори другого покоління Mobileye EyeQ2 (рисунок 1.1) суттєво підвищили обчислювальні можливості платформи та підтримали роботу з декількома високороздільними сенсорами одночасно. Їх функціональні можливості включають виявлення дорожньої розмітки, оцінку геометрії дороги, розпізнавання транспортних засобів, пішоходів і дорожніх знаків, а також інтелектуальні функції керування світловими приладами.



Відеопроцесори другого покоління
Mobileye EyeQ2



Конфігурація на основі однієї плати,
що об'єднує камеру та відеопроцесор
Mobileye EyeQ

Рисунок 1.1 - Відеопроцесори та обробні платформи Mobileye

					ДП.АКІТ. 10659818.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Особливістю технології Mobileye є застосування монокулярних алгоритмів машинного зору, які забезпечують не тільки розпізнавання об'єктів, але й оцінювання відстані до них, відносної швидкості, азимуту та часу можливого зіткнення. Подальші покоління процесорів (EyeQ3 і наступні) характеризуються суттєвим зростанням продуктивності та здатністю до паралельної обробки сигналів від багатьох високороздільних датчиків, що розширює можливості систем ADAS і наближає їх до повністю автономного керування.

Технологія Mobileye EyeQ безпосередньо відповідає концепції автоматизованих систем збору та обробки даних на базі мультисенсорних вузлів [4-6], яка розглядається в даній дипломній роботі. У межах цієї платформи реалізовано: інтеграцію камер, радіолокаційних сенсорів і інерційних датчиків; локальну попередню обробку даних на борту транспортного засобу; алгоритми злиття даних та контекстної обізнаності. Таким чином, Mobileye EyeQ є практичним прикладом промислової реалізації принципів, що покладені в основу розроблюваної системи.

На сьогодні технологія Mobileye інтегрована в транспортні засоби провідних світових виробників, таких як Volvo, GM, BMW, Ford, Hyundai, Opel, Citroën, Mitsubishi, Renault Trucks та інші, що підтверджує її високу ефективність і відповідність сучасним вимогам до інтелектуальних транспортних систем.

Наприклад, в автомобілях Volvo технологія Mobileye покладена в основу таких систем ADAS Volvo V40 (рисунок 1.2):

- Lane Keeping Aid – допомога в утриманні автомобіля в смузі руху;
- Road Sign Information – виявлення та розпізнавання дорожніх знаків;
- Active High Beam – активний контроль дальнього світла фар;
- Adaptive Cruise Control & Distance Alert – адаптивний круїз-контроль і попередження про небезпечне скорочення дистанції;
- Pedestrian Detection – виявлення пішоходів;

					ДП.АКІТ. 10659818.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- Collision Warning and Auto Brake – попередження про зіткнення та повне автоматичне гальмування;
- Driver Alert Control – виявлення ознак втоми водія та подання попереджувальних сигналів.



Рисунок 1.2 – Застосування технології Mobileye для опрацювання сигналів відеокамер та радарів в автомобілях Volvo V40: а) виявлення дорожніх знаків; б) утримання в полосі; в) моніторинг стану водія; г) технологія виявлення пішохода/велосипедиста за допомогою одного і того ж блоку з функцією повного автоматичного гальмування.

Подальший розвиток сенсорних технологій визначається мініатюризацією електронних компонентів, поширенням мікроелектромеханічних систем (МЕМС), зростанням обчислювальної

					ДП.АКІТ. 10659818.00.00.000 ПЗ	Арк. 13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

потужності мікроконтролерів і мікропроцесорів, а також інтеграцією бездротових каналів зв'язку. Це відкриває можливості створення розподілених сенсорних мереж у транспортних засобах і їх взаємодії з інфраструктурою «розумного міста» та глобальними інформаційними системами.

Таким чином, сенсорні технології поступово трансформуються із допоміжних засобів контролю в основу інтелектуальних транспортних систем. Їх еволюція забезпечує перехід від традиційного керування транспортним засобом до напіваавтоматизованих і автономних режимів руху, що визначає стратегічні напрями розвитку автомобільної галузі в найближчі десятиліття [1-8].

1.2 Мультисенсорні вузли та їх класифікація

Однією з ключових тенденцій розвитку сучасних транспортних засобів є перехід від використання окремих датчиків до побудови мультисенсорних вузлів. Під мультисенсорним вузлом розуміють інтегрований апаратно-програмний модуль, до складу якого входять декілька сенсорів різної фізичної природи, мікроконтролер або інший обчислювальний пристрій, а також засоби комунікації для передавання даних. Такі вузли формують основу розподіленої сенсорної мережі транспортного засобу і забезпечують підвищений рівень інтелектуальності систем керування.

Мультисенсорні вузли не тільки здійснюють вимірювання параметрів, а й реалізують функції локальної обробки, фільтрації, діагностики та часткового прийняття рішень. На відміну від традиційних окремих датчиків, вони мають розширені обчислювальні можливості та підтримують функції злиття даних, що дозволяє підвищити точність та достовірність отримуваної інформації. Завдяки цьому транспортний засіб розглядається як складна кіберфізична система, у якій сенсорні вузли взаємодіють між собою та з бортовими і зовнішніми обчислювальними платформами [8, 9].

					ДП.АКІТ. 10659818.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Мультисенсорні вузли в транспортних засобах можна класифікувати за кількома ознаками.

За функціональним призначенням:

- вузли моніторингу параметрів руху (швидкість, прискорення, просторове положення);
- вузли контролю технічного стану (тиск у шинах, температура робочих рідин, стан гальмівної системи);
- вузли зовнішнього сприйняття, що включають системи комп'ютерного зору, радари та лідари.

За типом інтегрованих датчиків розрізняють вузли на основі:

- МЕМС-сенсорів;
- оптичних сенсорів;
- магнітних пристроїв;
- радіолокаційних пристроїв.

Важливим є також поділ мультисенсорних вузлів за рівнем інтелектуальності:

- вузли першого рівня - модулі, що здійснюють лише вимірювання та передавання сигналів до центрального контролера;
- вузли другого рівня - мають можливості локальної попередньої обробки, самодіагностики та калібрування;
- вузли третього рівня - реалізують алгоритми злиття даних, контекстної обізнаності та часткового автономного прийняття рішень, що особливо актуально для систем ADAS та автономного керування.

Сьогодні зростає роль бездротових технологій у функціонуванні мультисенсорних вузлів. Їх оснащують інтерфейсами Wi-Fi, Bluetooth або спеціалізованими транспортними протоколами, що дозволяє формувати масштабовані сенсорні мережі та забезпечувати взаємодію з телематичними системами Car-to-Car і Car-to-X. Технології Car-to-Car та Car-to-X забезпечують взаємодію транспортних засобів між собою та з елементами дорожньої інфраструктури і хмарними сервісами. Вони розширюють

					ДП.АКІТ. 10659818.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

можливості сенсорних систем транспортного засобу, дозволяючи отримувати інформацію не лише від власних датчиків, але й із зовнішніх джерел, що підвищує рівень безпеки, надійності та інтелектуальності автоматизованих систем керування. Це суттєво розширює інформаційні можливості транспортних засобів та сприяє інтеграції їх у інтелектуальну транспортну інфраструктуру.

Отже, мультисенсорні вузли є базовими структурними елементами сучасних інтелектуальних транспортних систем. Їх класифікація за функціональним призначенням, типом сенсорів та рівнем інтелектуальності дозволяє обґрунтовано вибирати технічні засоби для побудови автоматизованих систем збору та обробки даних у транспортних засобах.

1.3 Системи ADAS у сучасних транспортних засобах

Системи ADAS належать до класу інтелектуальних автомобільних систем [1-3], призначених для підвищення активної та пасивної безпеки, зниження навантаження на водія та часткової автоматизації процесів керування транспортним засобом. Вони ґрунтуються на використанні комплексу сенсорних засобів, алгоритмів обробки інформації та засобів бортового керування, які забезпечують аналіз дорожньої обстановки в реальному часі та формування попереджувальних або коригувальних впливів.

Сучасні автомобілі дедалі частіше оснащуються значною кількістю різноманітних датчиків, об'єднаних у мультисенсорні вузли та мережі. До складу систем ADAS входять відеокамери, радары ближнього і дальнього діапазонів, ультразвукові сенсори, інерціальні датчики, супутникові навігаційні модулі та сенсори контролю технічного стану автомобіля. Саме надмірність та різноманітність сенсорних засобів створює умови для реалізації складних допоміжних функцій і наближення до автономного керування.

					ДП.АКІТ. 10659818.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Типовими прикладами функцій ADAS є системи автоматичного екстреного гальмування, утримання транспортного засобу в смузі руху, адаптивного круїз-контролю, контролю сліпих зон, допомоги під час паркування, розпізнавання дорожніх знаків і пішоходів. Транспортні засоби від провідних автомобільних виробників вже сьогодні демонструють можливості напіваавтономного руху на основі інтеграції стереокамер і багатодіапазонних радарів. Ці системи здатні здійснювати аналіз дорожньої сцени, оцінювати відстані до перешкод, визначати траєкторію руху та здійснювати корекцію керування.

На рисунку 1.3 показано схему розширеної системи допомоги водієві.

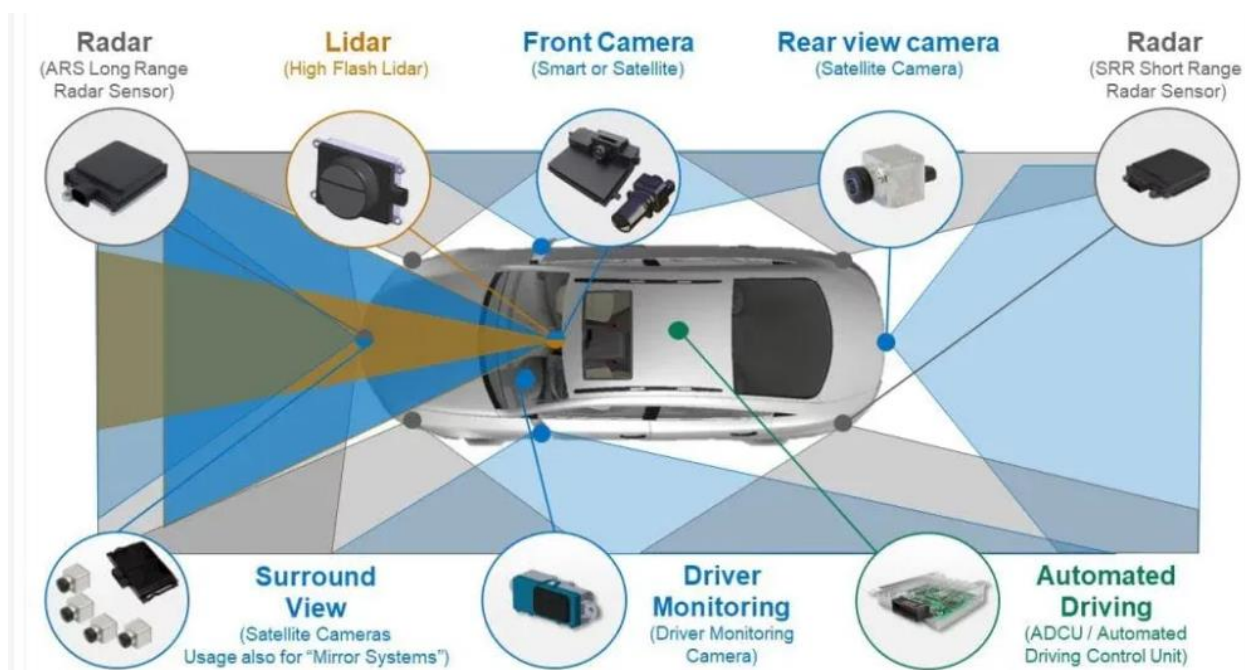


Рисунок 1.3 - Давачі системи допомоги водієві

Функціонування систем ADAS пов'язане з процесами злиття сенсорних даних [4-6, 10]. Інформація від різних датчиків має різну точність, просторову та часову роздільну здатність, тому її об'єднання дозволяє отримати більш повну та достовірну картину дорожньої обстановки. Перспективні сенсорні мережі супроводжуються алгоритмами контекстної обізнаності, які забезпечують визначення ситуації на дорозі з урахуванням великої кількості факторів та сценаріїв руху.

Сучасні ADAS працюють за допомогою активних та пасивних технологій.

Пасивні системи ADAS спрямовані на підвищення концентрації уваги під час керування та призначені для інформування/попередження водія про небезпечну ситуацію або потенційну небезпеку. З пасивною системою ADAS на борту водій повинен самостійно вживати заходів для запобігання/уникнення аварій або нещасних випадків. До поширених пасивних систем ADAS належать:

- антиблокувальна гальмівна система (ABS) запобігає поворотам і заносу автомобіля в ситуаціях, коли застосовується екстрене гальмування;
- електронна система курсової стійкості (ESC) запобігає надмірному та недостатньому повороту під час неочікуваних дорожніх ситуацій;
- система контролю тяги (TCS) поєднує функції ABS та ESC, щоб допомогти підтримувати належне зчеплення з дорогою під час поворотів та віражів;
- задня камера забезпечує вигляд ззаду автомобіля для допомоги при паркуванні та русі заднім ходом;
- попередження про виїзд зі смуги руху (LDW) попереджає водія, коли автомобіль виїжджає за межі своєї смуги руху;
- попередження про лобове зіткнення (FCW) попереджає водія про необхідність застосувати гальма, щоб запобігти лобовому зіткненню;
- виявлення сліпих зон попереджає водія про наявність транспортного засобу в сліпій зоні.
- допомога під час паркування попереджає водіїв, коли об'єкти наближаються до переднього та/або заднього бамперів на низьких швидкостях для паркування.

Активні системи ADAS спрямовані на задоволення рефлекторної частини водіння та розроблені для безпосереднього реагування в небезпечних умовах або потенційній небезпеці. З активною системою ADAS

					ДП.АКІТ. 10659818.00.00.000 ПЗ	Арк. 18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

автомобіль сам вживає заходів для запобігання чи уникнення аварій або нещасних випадків. До поширених активних систем належать:

- автоматичне екстрене гальмування автоматично застосовує гальма, щоб запобігти зіткненню з іншим транспортним засобом чи об'єктом, включаючи пішоходів, тварин, перешкоди тощо, що заважають руху транспортного засобу;
- екстрене кермування автоматично керує автомобілем, щоб запобігти зіткненню з будь-яким об'єктом, що опиниться на шляху руху транспортного засобу;
- адаптивний круїз-контроль автоматично регулює швидкість круїз-контролю залежно від транспортних засобів попереду;
- допомога утримання смуги руху та утримання в центрі смуги руху автоматично керує автомобілем, щоб утримувати його у смузі руху, навіть під час поворотів;
- допомога в заторах поєднує адаптивний круїз-контроль та систему утримання смуги руху, забезпечуючи напіваавтоматизовану допомогу водієві під час дорожніх зіткнень, а також під час зупинок та рушання;
- самостійне паркування - автоматизоване та самокероване паркування.

На рисунку 1.4 наведено приклади споживчих систем ADAS компанії Mobileye, призначених для дооснащення серійних транспортних засобів. Пристрій монтується на лобовому склі автомобіля і виконує функції моніторингу дорожньої обстановки за допомогою вбудованої відеокамери та алгоритмів машинного зору. Центральний індикатор відображає попередження у вигляді зрозумілих графічних символів і цифрових значень дистанції або часу до можливого зіткнення.

Система забезпечує реалізацію таких функцій підвищення безпеки: попередження про можливе зіткнення з транспортним засобом або пішоходом, контроль дистанції, розпізнавання дорожніх знаків, допомогу в утриманні смуги руху, сповіщення про перевищення швидкості та інші сервіси. Представлений приклад ілюструє принцип роботи автоматизованих

					ДП.АКІТ. 10659818.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

систем збору та обробки даних на основі технології машинного зору та мультисенсорних вузлів.

Вигляд
компактного
індикатора, що
встановлюється
перед водієм



Схема
позначень
індикатора



Робота системи
в реальних
дорожніх
умовах



Варіант
комплектації
пристрою з
блоком
обробки та
мобільним
додатком



Рисунок 1.4 - Системи ADAS Mobileye

Подальший розвиток систем ADAS пов'язаний із переходом до повністю автономних транспортних засобів. Перспективним є використання телематичних платформ типу Car-to-Car та Car-to-X, які дають можливість транспортним засобам обмінюватися даними між собою та з елементами дорожньої інфраструктури. Це істотно розширює «сенсорний горизонт»

автомобіля та дає змогу завчасно отримувати інформацію про дорожні події, які не можуть бути безпосередньо виявлені бортовими датчиками.

Таким чином, системи ADAS посідають центральне місце в розвитку інтелектуальних транспортних технологій. Вони базуються на мультисенсорних вузлах, складних алгоритмах обробки та злиття даних і є проміжною ланкою між традиційними водійськими асистентами та повністю автономними системами керування транспортними засобами. Їх швидкий розвиток визначає підвищені вимоги до сенсорних технологій, обчислювальних платформ і програмного забезпечення.

1.4. Стандарти та вимоги до функціональної безпеки сенсорних систем у транспортних засобах

Функціональна безпека сенсорних систем у транспортних засобах набуває особливої актуальності у зв'язку зі зростанням рівня автоматизації та впровадженням систем ADAS і елементів автономного керування. На відміну від традиційних автомобільних електронних пристроїв, мультисенсорні системи безпосередньо впливають на процеси керування транспортним засобом і можуть визначати прийняття критично важливих рішень, пов'язаних із запобіганням аварійним ситуаціям. Тому на етапах проєктування, виробництва та експлуатації таких систем необхідно дотримуватися комплексу міжнародних стандартів функціональної безпеки.

У статті, що аналізується, особлива увага приділяється стандарту ISO 26262 [11], який регламентує вимоги до функціональної безпеки електричних та електронних систем дорожніх транспортних засобів. Цей стандарт поширюється на весь життєвий цикл виробу: від розроблення концепції та проєктування апаратних і програмних засобів до їх випробувань, технічного обслуговування та утилізації. ISO 26262 передбачає виділення рівнів автомобільної цілісності (ASIL), що визначають ступінь критичності функцій і необхідні заходи безпеки для запобігання небезпечним відмовам.

					ДП.АКІТ. 10659818.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Для сенсорних систем транспортних засобів вимоги функціональної безпеки включають забезпечення **відмовостійкості, самодіагностики та дублювання критичних каналів вимірювання**. Із зростанням складності сенсорних мереж збільшується ймовірність як випадкових, так і систематичних відмов, що потребує застосування методів моніторингу працездатності датчиків, перевірки достовірності інформації та реалізації механізмів безпечного переходу в деградовані режими роботи. Особливої уваги набувають питання узгодженості вимірювань при використанні різнорідних датчиків та алгоритмів злиття даних.

Вимоги до функціональної безпеки також охоплюють програмне забезпечення, яке здійснює збирання та обробку сенсорної інформації. Необхідним є забезпечення коректності алгоритмів, захист від помилок програмування, перевірка граничних станів і уникнення неконтрольованих режимів керування. Крім ISO 26262, до сенсорних систем транспортних засобів застосовуються стандарти, пов'язані з електромагнітною сумісністю, надійністю програмного забезпечення, кібербезпекою та вимогами до зв'язку між транспортними засобами та інфраструктурою.

Окремим напрямом є забезпечення безпеки телематичних і мережевих рішень, зокрема систем Car-to-Car і Car-to-X, які передбачають обмін даними між транспортними засобами та елементами дорожньої інфраструктури. У статті зазначається, що інтеграція таких систем розширює можливості сенсорних мереж, проте водночас вимагає додаткових заходів інформаційної та функціональної безпеки, оскільки некоректні або спотворені дані можуть призвести до неправильних рішень систем автоматизованого керування.

У таблиці 1.1 узагальнено основні стандарти, що регламентують проєктування сенсорних та мультисенсорних систем у транспортних засобах.

Таким чином, стандарти функціональної безпеки відіграють ключову роль у впровадженні сенсорних систем і мультисенсорних мереж у сучасні транспортні засоби.

					ДП.АКІТ. 10659818.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 1.1 - Стандарти, що застосовуються до сенсорних систем транспортних засобів.

№	Стандарт	Галузь застосування	Призначення стандарту
1	ISO 26262 [11]	Функціональна безпека	Регламентує вимоги до функціональної безпеки електронних та електричних систем транспортних засобів, аналіз ризиків (ASIL), життєвий цикл ПЗ та апаратури
2	ISO 21448 (SOTIF) [12]	Безпека алгоритмів і сенсорів	Безпека запланованої функціональності, помилки сенсорів і алгоритмів ADAS
3	ISO 11452 [13]	Електромагнітна сумісність (EMC)	Методи випробувань автомобільних електронних компонентів на стійкість до ЕМ-полів
4	ISO/SAE 21434 [14]	Кібербезпека	Захист автомобільних електронних систем від кібератак, управління кіберризиками
5	Automotive SPICE (ISO/IEC 33001) [15]	Надійність програмного забезпечення	Оцінка процесів розробки ПЗ в автомобільній промисловості
6	ISO/IEC 25010 [16]	Якість програмного забезпечення	Модель якості ПЗ: надійність, безпека, продуктивність, точність
7	IEEE 802.11p [17]	Car-to-Car, Car-to-X	Бездротовий зв'язок між транспортними засобами та інфраструктурою
8	3GPP C-V2X (LTE-V2X, 5G-V2X) [18]	Car-to-X через мобільні мережі	Зв'язок між авто, інфраструктурою та хмарою через LTE/5G
9	ISO 11898 [19]	Бортові мережі (CAN)	Фізичний і канальний рівні CAN-шини

Стандарти забезпечують нормативну основу для проєктування, експлуатації та контролю таких систем і доводять, що зростання рівня інтелектуальності та автономності транспорту супроводжується належним рівнем безпеки для водія, пасажирів і учасників дорожнього руху.

2. ПРОЄКТУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ ТА АЛГОРИТМУ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЗБОРУ ТА ОБРОБКИ ДАНИХ

2.1 Побудова архітектури системи

Пропонована автоматизована система збору та обробки даних у транспортних засобах будуватиметься за модульним принципом. Вона складається з трьох основних рівнів:

- сенсорний рівень: набір мультисенсорних вузлів, які включають датчики тиску, швидкості обертання коліс, акселерометри, гіроскопи, GPS та сенсори навколишнього середовища (температури, вологості тощо);
- обчислювальний рівень: мікроконтролер, що забезпечує збір даних, їх попередню обробку та реалізацію алгоритмів контролю;
- комунікаційний рівень: інтерфейси передавання даних (провідні / бездротові), які дозволяють обмін інформацією як усередині транспортного засобу, так і з зовнішніми системами (локальними або хмарними).

Архітектура запропонованої системи (рисунок 2.1) передбачає використання бездротових модулів (Wi-Fi або Bluetooth) для зв'язку між сенсорними вузлами та центральним контролером [20, 21]. Це дозволяє зменшити кількість дротових з'єднань і спрощує масштабування системи. У перспективі можливе застосування протоколів, що відповідають вимогам до транспортних систем, зокрема CAN або Car-to-X.

На рисунку 2.1 приведена архітектура автоматизованої системи збору та обробки даних на базі мультисенсорних вузлів у транспортних засобах, де ліва частина відповідає сенсорному рівню (формування первинних вимірювальних даних); центральна частина - обчислювальному рівню (фільтрація, злиття даних, алгоритми контролю); права частина - комунікаційному рівню (внутрішній автомобільний зв'язок та обмін із зовнішніми системами).

					ДП.АКІТ. 10659818.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Стрілки на схемі показують напрям передавання інформації: від сенсорних вузлів до обчислювального рівня, де здійснюється фільтрація, злиття та аналіз даних, а далі – до комунікаційного рівня для передавання інформації бортовими шинами та бездротовими каналами до зовнішніх систем і сервісів.

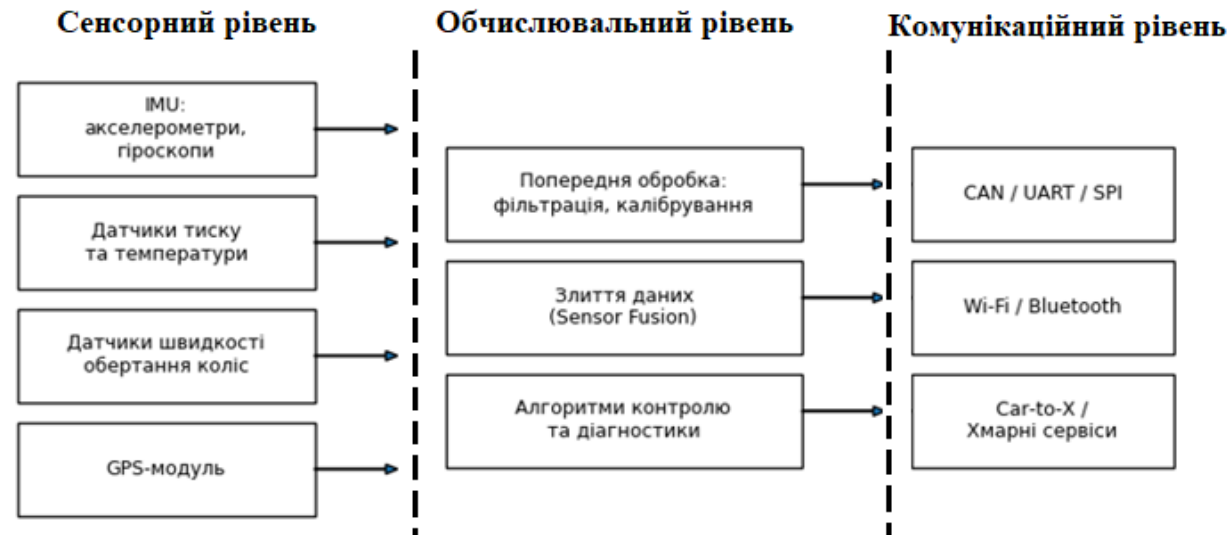


Рисунок 2.1 - Архітектура автоматизованої системи збору та обробки даних на базі мультисенсорних вузлів у транспортних засобах

У даній архітектурі (рисунок 2.1) обчислювальний рівень є центральним елементом системи. Тут виконується попереднє опрацювання, фільтрація та злиття сенсорних даних, а також формування інформаційних і керуючих повідомлень. Комунікаційний рівень забезпечує інтеграцію системи з інтелектуальною транспортною інфраструктурою та хмарними інформаційними сервісами.

Необхідність саме такої побудови підтверджується сучасними тенденціями розвитку сенсорних технологій. У наступному поколінні сенсорних мереж інтеграція датчиків із мікроконтролером передбачає не лише використання дротових, а й бездротових каналів зв'язку. Такі системи підтримують функції злиття сенсорних даних, а також впроваджують алгоритми контекстної обізнаності, що дозволяють не просто збирати

інформацію, а й інтерпретувати її з урахуванням поточних умов та стану об'єкта.

Крім того, на рівні контролера реалізуються алгоритми попереднього фільтрування та злиття даних. Це дозволяє підвищити достовірність вимірювань і забезпечити більш стійке функціонування системи в умовах завад чи похибок окремих датчиків. Таким чином, архітектура системи поєднує принципи модульності, розподіленості та інтелектуальної обробки, що відповідає сучасним тенденціям розвитку мультисенсорних мереж у транспортних засобах.

2.2 Вибір сенсорних вузлів та мікроконтролера

Для побудови автоматизованої системи збору та обробки даних у транспортних засобах необхідно визначити склад сенсорних вузлів та обчислювальної бази. Система повинна забезпечувати збір інформації про ключові параметри транспортного засобу та передавати її для подальшої обробки і прийняття рішень.

У сучасних автомобілях подібні функції виконуються завдяки інтеграції різномірних сенсорів у єдині мережі, що працюють під керуванням мікроконтролерів. Це підтверджує доцільність використання мікроконтролерної платформи як базового елемента системи.

Для реалізації практичної частини необхідно обрати мікроконтролер, який поєднує низьку вартість, достатню обчислювальну потужність та широкий набір інтерфейсів для підключення сенсорів. Додатково можуть застосовуватися модулі бездротового зв'язку для інтеграції в локальну сенсорну мережу [22, 23].

У таблиці 2.1 наведено порівняльні характеристики контролерів для мультисенсорних систем [24-26].

Для реалізації автоматизованої системи збору та обробки даних було обрано мікроконтролер STM32, який належить до 32-бітних ARM-

					ДП.АКІТ. 10659818.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

контролерів. Його використання зумовлене високою обчислювальною потужністю, наявністю широкого набору інтерфейсів (I²C, SPI, UART, CAN), низьким енергоспоживанням та орієнтацією на застосування у вбудованих системах транспортних засобів.

Таблиця 2.1 - Порівняльна таблиця контролерів

Критерій	STM32	Arduino (UNO/Mega)	ESP32	Raspberry Pi
Тип платформи	32-бітний ARM-мікроконтролер	8/32-бітний навчальний мікроконтролер	32-бітний двоядерний MCU	Одноплатний комп'ютер
Тактова частота	72–480 МГц	16–72 МГц	~240 МГц × 2	1–2+ ГГц
ОС	не потрібна	не потрібна	не потрібна	Linux
Обчислювальна потужність	висока	низька/середня	висока	дуже висока
Робота в реальному часі	відмінно	можливо	добре	проблематично
Інтерфейси для датчиків	I ² C, SPI, UART, CAN, ADC, DAC	I ² C, SPI, UART, ADC	I ² C, SPI, UART, ADC, Bluetooth, Wi-Fi	USB, Ethernet, SPI, I ² C, HDMI
Підтримка CAN (автомобільна шина)	є (вбудовано у багатьох моделях)	немає	немає (тільки через зовнішній контролер)	через додаткові модулі
Підходить для автомобільних систем	промисловий стандарт	навчальні макети	з бездротовими функціями	комп'ютер для прототипів
Бездротові інтерфейси	через окремі модулі	через окремі модулі	Wi-Fi + Bluetooth	Wi-Fi, Bluetooth
Енергоспоживання	низьке	дуже низьке	низьке/середнє	високе
Складність програмування	середня	проста	середня	висока (Linux, Python, C++)
Вартість	середня	низька	низька/середня	вища
Оптимально	найкращий варіант	базові лабораторні роботи	хороша альтернатива з Wi-Fi	для нейромереж та камер, не для MCU

На відміну від платформ типу Arduino, STM32 забезпечує виконання алгоритмів злиття сенсорних даних і цифрової фільтрації у реальному часі. Порівняно з Raspberry Pi, запропоноване рішення не потребує операційної системи, має менші габарити й енергоспоживання та відповідає вимогам до надійності бортових систем.

Таким чином, вибір STM32 є обґрунтованим для реалізації мультисенсорного вузла та автоматизованої системи збору й обробки даних у транспортних засобах.

Вибір сенсорних вузлів зумовлений їх практичним значенням у транспортних системах. Це дозволяє сформувати перелік ключових сенсорів для реалізації системи:

- датчики тиску (для контролю шин або гальмівної системи);
- датчики швидкості обертання коліс;
- акселерометри та гіроскопи для визначення просторового положення;
- модуль GPS для визначення місцезположення транспортного засобу;
- датчики температури та вологості для контролю зовнішніх умов.

На рисунку 2.2 наведено основні функції та вузли ключових сенсорів для реалізації розроблюваної системи.

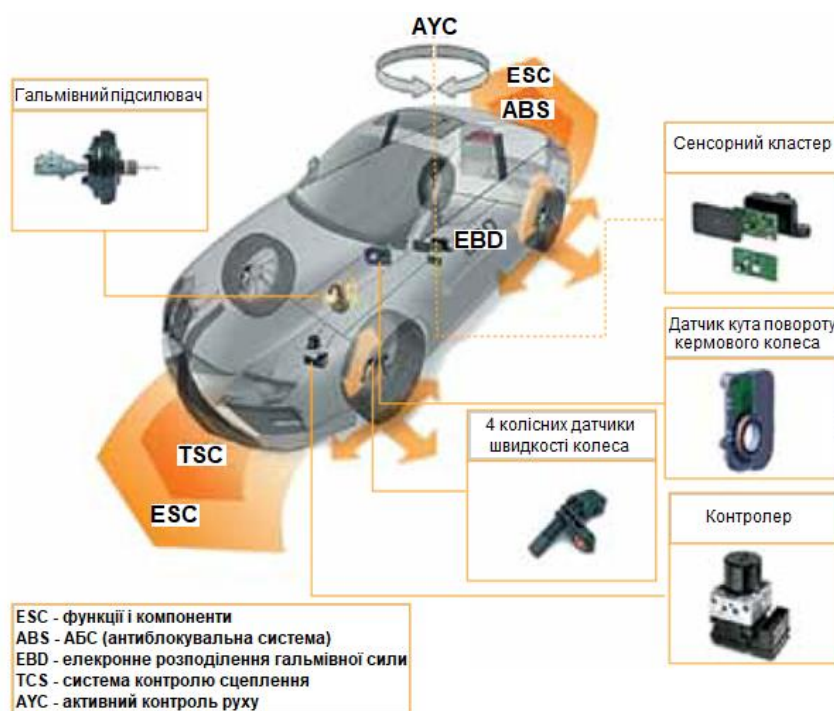


Рисунок 2.2 – Схема взаємодії основних сенсорів системи

Система ESC (Electronic Stability Control) - електронна система курсової стійкості. Дана система використовує датчики:

- кутової швидкості (гіроскоп yaw-rate sensor);
- поздовжнього та поперечного прискорення (акселерометри);
- швидкості обертання коліс;
- кута повороту керма;
- поперечного відхилення/ковзання (розраховується на основі інших сенсорів).

Система ESC порівнює заплановану траєкторію (за кермом) з реальною поведінкою авто (за датчиками прискорень і обертання) та втручається у гальмування окремих коліс.

Основним завданням системи ESC є запобігання заносу транспортного засобу під час руху на поворотах шляхом порівняння в системі, реалізованій на основі мікроконтролера, сигналів датчиків ESP, що характеризують фактичний рух транспортного засобу (датчиків кутової швидкості курсу та бокового прискорення), із сигналом датчика рульового керування, який надає інформацію про траєкторію руху, обрану водієм (рисунок 2.3). На основі аналізу цих сигналів система ESC здійснює корекцію курсу, прикладаючи індивідуальне гальмівне зусилля до окремих коліс, використовуючи при цьому датчики частоти обертання коліс системи ABS та датчики тиску для контролю процесу гальмування.

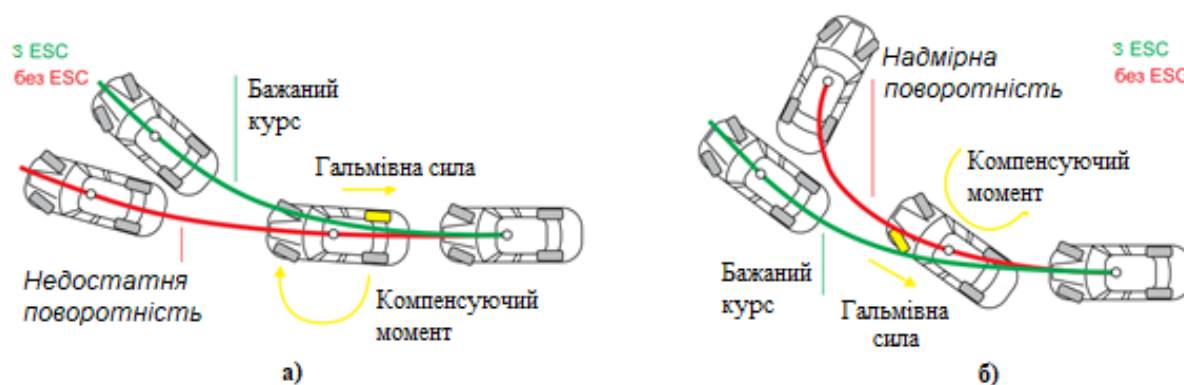


Рисунок 2.3 - Взірець корекції курсу за рахунок індивідуального гальмування коліс у ситуаціях недостатньої (а) та надмірної (б) чутливості до повороту керма

Дуже важливим є те, що система працює в будь-якому швидкісному режимі. На сьогодні система ESC визнана однією з найефективніших у забезпеченні безпеки руху. Вона коригує помилки водія та підвищує рівень безпеки у разі заносу транспортного засобу. Разом із тим, попри всі безперечні переваги цієї системи, її можливості мають певні обмеження. Фізичні закони не завжди піддаються впливу навіть найсучасніших засобів безпеки. За умов малого радіуса повороту та максимальної швидкості руху жодна, навіть найбільш досконала програма, не може гарантувати повної безпеки.

Система ABS (Anti-lock Braking System) - антиблокувальна система гальм. У ній задіяні наступні датчики:

- швидкості обертання кожного колеса (індукційні або Hall-сенсори);
- положення педалі гальма (іноді інтегрований у гальмівний модуль);

ABS фіксує момент, коли колесо починає блокуватися, і регулює тиск у гальмівному контурі.

Система EBD (Electronic Brakeforce Distribution) - електронний розподіл гальмівних зусиль. У даній системі використовуються датчики:

- швидкості обертання коліс;
- навантаження на задню вісь (іноді замінюється програмною оцінкою);
- гальмівного тиску.

EBD перерозподіляє гальмівну силу між осями, щоб уникнути заносу та нерівномірного гальмування.

Система TCS (Traction Control System) - система контролю тяги/пробуксовки використовує датчики:

- швидкості обертання коліс;
- положення педалі акселератора;
- кутової швидкості двигуна (оберти);
- акселерометри (для оцінки розгону).

Система порівнює обертання коліс і виявляє пробуксовку, після чого зменшує крутний момент або підгальмовує колесо.

					ДП.АКІТ. 10659818.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Система АУС (Active Yaw Control) - активний контроль руху.

У даній системі застосовуються датчики:

- кутової швидкості (yaw-rate);
- поперечний та поздовжній акселерометри;
- швидкості коліс;
- кута повороту керма;
- положення дросельної заслінки.

АУС активно керує розподілом крутного моменту між колесами для компенсації недоповоротності або заносів.

Таким чином, вибір сенсорних вузлів та мікроконтролера відповідає сучасним тенденціям розвитку інтелектуальних транспортних систем. Інтеграція кількох сенсорів у мультисенсорні вузли забезпечує підвищену точність і надійність вимірювань, а використання мікроконтролера як керуючої ланки дозволяє реалізувати як локальну обробку даних, так і їх передачу до централізованих систем керування.

2.3 Алгоритм збору та опрацювання даних

Алгоритм функціонування автоматизованої системи збору та опрацювання даних на базі мультисенсорних вузлів передбачає послідовне виконання основних етапів: отримання вимірювальної інформації від датчиків, попередня фільтрація сигналів, злиття даних різної природи, передавання результатів і формування керуючих впливів або інформаційних повідомлень для користувача.

На рисунку 2.4 подано схему алгоритму функціонування автоматизованої системи збору та обробки даних на базі мультисенсорних вузлів. Алгоритм починається з етапу ініціалізації апаратних компонентів, під час якого здійснюється налаштування сенсорів та мікроконтролера, а також перевірка коректності їх роботи. Далі система переходить у режим безперервного збору вимірювальної інформації від різнорідних датчиків,

					ДП.АКІТ. 10659818.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

зокрема датчиків тиску, швидкості обертання коліс, інерційних сенсорів (акселерометрів і гіроскопів), GPS-модуля та сенсорів навколишнього середовища. Такий підхід забезпечує формування повної та актуальної інформаційної картини стану транспортного засобу і умов його руху.

Наступним етапом, відповідно до рисунка 2.4, є попередня обробка сигналів на рівні мікроконтролера. Вона включає масштабування вимірювань, фільтрацію шумів, усереднення та компенсацію систематичних похибок окремих сенсорів. Реалізація цього етапу дозволяє підвищити точність та стабільність отриманих даних, що особливо важливо в умовах вібрацій, електромагнітних завад і змін зовнішнього середовища, характерних для транспортних систем. Після цього здійснюється злиття сенсорних даних (sensor fusion), яке полягає в об'єднанні інформації від декількох джерел для отримання узагальнених і більш достовірних оцінок параметрів руху та стану транспортного засобу. Наприклад, суміщення даних акселерометра, гіроскопа та GPS дозволяє підвищити точність визначення положення, швидкості та напрямку руху.

Завершальним етапом алгоритму є формування результатів обробки та їх передавання через провідні або бездротові інтерфейси до верхнього рівня системи, що також відображено на рисунку 2.4. На цьому рівні можуть генеруватися попереджувальні сигнали для водія, повідомлення про потенційно небезпечні ситуації, а також здійснюватися реєстрація подій і формування статистичних звітів.

Остаточні оброблені дані передаються через дротові або бездротові інтерфейси до верхнього рівня системи - бортового комп'ютера, мобільного пристрою або хмарного сервісу. На цьому етапі можливе формування попереджувальних сигналів, реєстрація аварійних ситуацій, а також створення статистичних звітів про роботу транспортного засобу.

На рисунку 2.4 подано послідовність основних етапів роботи автоматизованої системи.

					ДП.АКІТ. 10659818.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

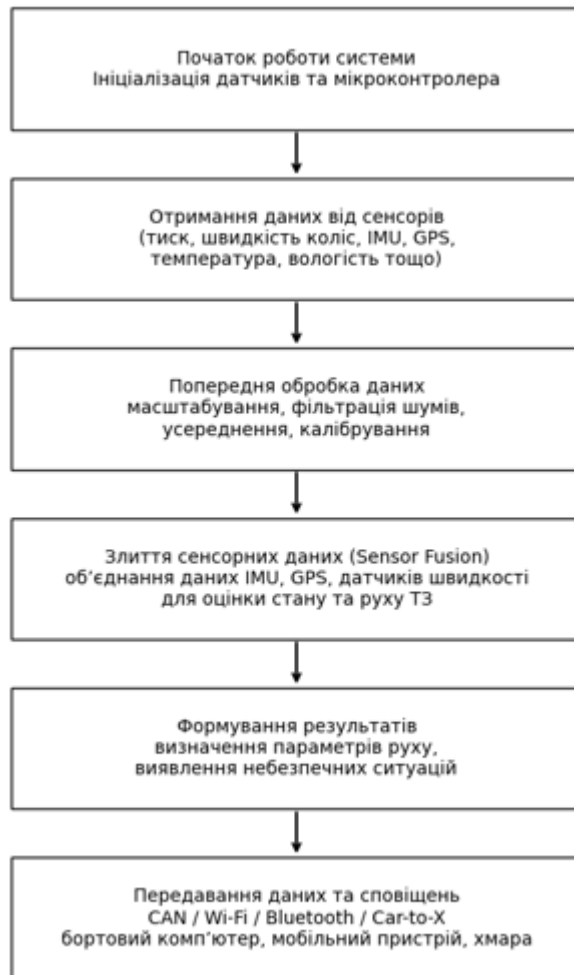


Рисунок 2.4 - Схема алгоритму роботи автоматизованої системи збору та обробки даних на базі мультисенсорних вузлів

Таким чином, запропонований алгоритм збору та обробки даних забезпечує послідовну інтеграцію інформації від багатьох сенсорів, що відповідає сучасним тенденціям розвитку мультисенсорних систем у транспортній галузі та дозволяє підвищити точність контролю та безпеку експлуатації транспортних засобів.

У таблиці 2.2 наведено відповідність між основними етапами алгоритму функціонування системи, апаратними засобами та програмними модулями, що їх реалізують. Такий поділ дозволяє чітко структурувати систему, визначити функціональні обов'язки кожного апаратного компонента та забезпечити модульний підхід до розроблення програмного

забезпечення автоматизованої системи збору та обробки даних на базі мультисенсорних вузлів.

Таблиця 2.2 - Відповідність між основними етапами алгоритму функціонування системи

Етап алгоритму	Апаратні засоби	Програмні модулі
1. Ініціалізація системи та сенсорів	Мікроконтролер (STM32 / ESP32), датчики IMU, GPS, датчики тиску, температури, швидкості коліс, модулі зв'язку	Модуль ініціалізації апаратури, драйвери сенсорів, модуль перевірки працездатності (self-test)
2. Збір вимірювальної інформації	Акселерометри, гіроскопи, GPS-модуль, датчики тиску, швидкості коліс, температури та вологості	Модуль опитування сенсорів, модуль синхронізації даних, буферизація вимірювань
3. Попередня обробка даних	Мікроконтролер, АЦП (вбудований у МК)	Модуль масштабування, фільтрації шумів (цифрові фільтри), усереднення, компенсації похибок і калібрування
4. Злиття сенсорних даних (Sensor Fusion)	Мікроконтролер з підвищеною обчислювальною потужністю	Модуль злиття даних, комплементарний фільтр або фільтр Калмана, модуль оцінювання стану ТЗ
5. Формування результатів та виявлення подій	Мікроконтролер, пам'ять для збереження даних	Модуль аналізу параметрів руху, модуль виявлення небезпечних ситуацій, логіка прийняття рішень
6. Передавання даних і повідомлень	CAN-трансивер, Wi-Fi або Bluetooth модуль, інтерфейси UART, SPI, I ² C	Комунікаційний модуль, протоколи передавання даних, модуль формування повідомлень
7. Візуалізація та взаємодія з користувачем	Бортовий комп'ютер, мобільний пристрій, дисплей	Модуль відображення інформації, інтерфейс користувача, модуль формування звітів

3. РЕАЛІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЗБОРУ ТА ОБРОБКИ ДАНИХ НА БАЗІ МУЛЬТИСЕНСОРНИХ ВУЗЛІВ

3.1 Розроблення структурної схеми автоматизованої системи збору та обробки даних на базі мультисенсорних вузлів

Структурна схема автоматизованої системи збору та обробки даних на базі мультисенсорних вузлів (рисунок 3.1) відображає логічну та функціональну організацію розроблюваної системи і демонструє взаємозв'язок між її основними компонентами. Система побудована за модульним принципом і складається з трьох взаємопов'язаних рівнів: сенсорного, обчислювального та комунікаційного. Такий підхід відповідає сучасним тенденціям проектування вбудованих систем для транспортних засобів і забезпечує масштабованість, надійність та можливість подальшого розширення функціональних можливостей.

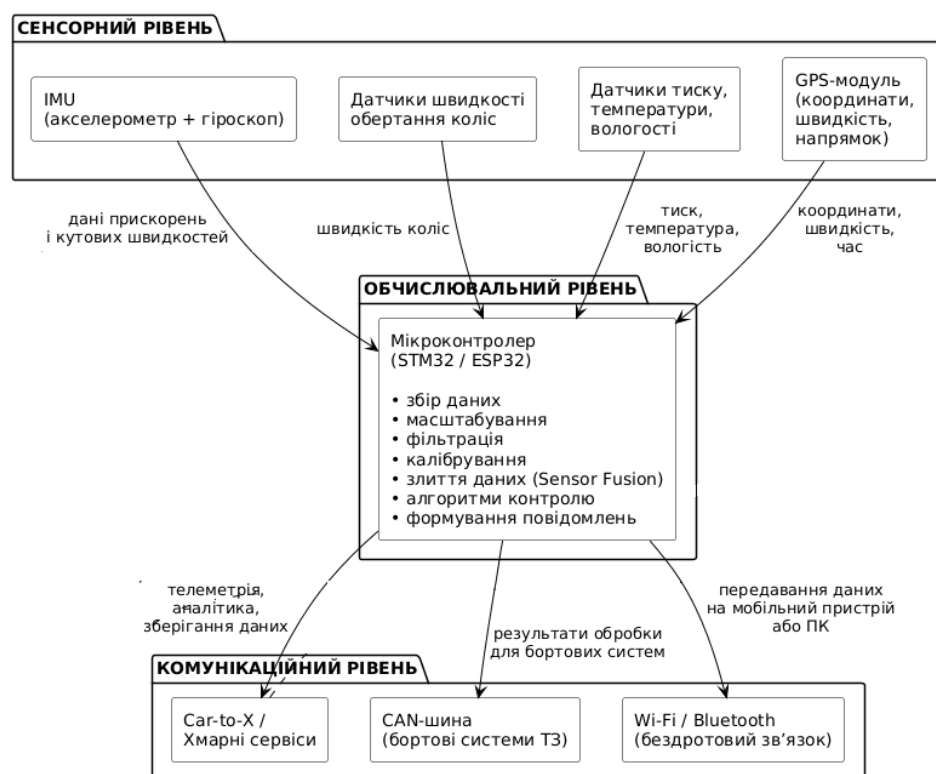


Рисунок 3.1 – Структурна схема автоматизованої системи збору та обробки даних на базі мультисенсорних вузлів

Сенсорний рівень є джерелом первинної вимірювальної інформації і призначений для безперервного моніторингу параметрів транспортного засобу та умов його експлуатації. До його складу входять декілька типів датчиків, які відрізняються за фізичною природою та функціональним призначенням. Зокрема, інерційний вимірювальний модуль (IMU), що поєднує акселерометри та гіроскопи, використовується для визначення лінійних прискорень, кутових швидкостей та просторової орієнтації транспортного засобу. Дані з IMU є основою для оцінювання динамічних характеристик руху, таких як розгін, гальмування, нахили кузова та стабільність курсу.

Датчики тиску і температури забезпечують контроль параметрів, що характеризують технічний стан окремих вузлів автомобіля та умов навколишнього середовища. Наприклад, вони можуть використовуватися для моніторингу тиску в шинах, температури робочих рідин або температури повітря, що є важливим для підвищення безпеки та ефективності експлуатації транспортного засобу. Датчики швидкості обертання коліс дозволяють визначати лінійну швидкість руху, виявляти пробуксовку або блокування коліс та є необхідними для реалізації алгоритмів стабілізації руху. GPS-модуль забезпечує отримання інформації про географічне положення, швидкість і напрямок руху транспортного засобу в глобальній системі координат, що дозволяє інтегрувати систему з навігаційними сервісами та телематичними платформами.

Таким чином, сенсорний рівень формує розподілену мультисенсорну систему, у якій кожен тип датчика відповідає за вимірювання певної групи параметрів. Взаємне доповнення цих даних створює основу для подальшої інтелектуальної обробки інформації та реалізації алгоритмів злиття даних.

Обчислювальний рівень реалізовано на базі мікроконтролера STM32 або ESP32, який виконує функції центрального елемента керування всією системою. Він забезпечує опитування сенсорів, синхронізацію потоків даних,

					ДП.АКІТ. 10659818.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

попередню обробку сигналів, злиття інформації від різних джерел та формування результатів для подальшого використання. Наявність у мікроконтролері кількох інтерфейсів (I²C, SPI, UART, CAN) дозволяє підключати велику кількість різноманітних датчиків та комунікаційних модулів, що є важливим для мультисенсорних систем.

На першому етапі роботи обчислювального рівня здійснюється збір та попередня обробка даних. Вона включає масштабування вимірювань, фільтрацію шумів, усереднення та компенсацію систематичних похибок окремих сенсорів. Це дозволяє зменшити вплив випадкових завад, вібрацій та нестабільності вимірювальних каналів, характерних для транспортного середовища. Далі реалізується етап злиття сенсорних даних (sensor fusion), під час якого інформація від різних датчиків об'єднується з метою отримання точних і надійних оцінок параметрів руху та стану транспортного засобу. Наприклад, поєднання даних IMU та GPS дозволяє підвищити точність визначення координат, швидкості та напрямку руху навіть у складних умовах прийому супутникових сигналів.

Крім того, мікроконтролер реалізує алгоритми контролю та діагностики, які дозволяють виявляти потенційно небезпечні ситуації, такі як різке гальмування, втрата стійкості або аномальні значення вимірюваних параметрів. На основі результатів обробки формуються інформаційні повідомлення або керуючі впливи, які можуть використовуватися іншими системами транспортного засобу чи передаватися на вищі рівні керування.

Комунікаційний рівень призначений для забезпечення обміну даними між обчислювальним модулем та іншими підсистемами автомобіля, а також із зовнішніми інформаційними ресурсами. На структурній схемі (рисунок 3.1) він представлений трьома основними напрямками зв'язку. Перший – це CAN-шина, яка є стандартним засобом комунікації в автомобільних системах і використовується для взаємодії з електронними блоками керування транспортного засобу. Через CAN можливе передавання результатів обробки даних до систем стабілізації, гальмування або бортового комп'ютера.

					ДП.АКІТ. 10659818.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Другий напрям – це бездротові інтерфейси Wi-Fi та Bluetooth, які забезпечують зв'язок із мобільними пристроями, діагностичними комплексами або локальними серверами. Використання бездротових технологій спрощує доступ до даних, дозволяє здійснювати моніторинг у реальному часі та підвищує гнучкість системи. Третій напрям – це канали Car-to-X та хмарні сервіси, які відкривають можливості інтеграції транспортного засобу з інтелектуальною транспортною інфраструктурою та глобальними інформаційними системами. Завдяки цьому система може не лише передавати дані для довготривалого зберігання та аналізу, але й отримувати інформацію про дорожню ситуацію, погодні умови або аварійні події.

У цілому структурна схема відображає послідовний і логічно впорядкований процес обробки інформації: від формування первинних вимірювань на сенсорному рівні через інтелектуальну обробку на рівні мікроконтролера до передавання результатів через різні канали зв'язку. Така організація системи поєднує принципи модульності, розподіленості та інтелектуальної обробки даних, що робить її придатною для практичного використання у сучасних транспортних засобах.

Запропонована структурна схема може бути адаптована під різні типи транспортних платформ і рівнів автоматизації. Вона забезпечує можливість поступового розширення системи шляхом додавання нових сенсорів, впровадження більш складних алгоритмів обробки та інтеграції з перспективними телематичними сервісами, що підтверджує її відповідність сучасним тенденціям розвитку мультисенсорних систем у транспортній галузі.

3.2 Вибір і підключення датчиків

Вибір датчиків для розроблюваної автоматизованої системи збору та обробки даних здійснювався з урахуванням вимог до точності вимірювань,

					ДП.АКІТ. 10659818.00.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

надійності, швидкодії, сумісності з мікроконтролером. Основною метою є формування мультисенсорного вузла, здатного забезпечити комплексний моніторинг стану та руху транспортного засобу на основі фізичних величин різного походження.

До складу сенсорного рівня включено такі основні групи датчиків: інерційні сенсори (акселерометри та гіроскопи), датчики швидкості обертання коліс, датчики тиску та температури, GPS-модуль, а також сенсори навколишнього середовища. Такий набір дозволяє отримувати інформацію про динамічні параметри руху, просторове положення, технічний стан окремих вузлів транспортного засобу та умови експлуатації.

Інерційний вимірювальний модуль (IMU) (рисунк 3.2), що поєднує акселерометр і гіроскоп, є одним із ключових елементів системи. Він використовується для визначення лінійних прискорень і кутових швидкостей, що дозволяє оцінювати розгін, гальмування, нахили та курсову стабільність транспортного засобу. Такі модулі, як правило, складаються з MEMS-сенсорів і компактної електроніки, що забезпечує цифровий вихід даних для подальшої обробки мікроконтролером. Підключення IMU до мікроконтролера здійснюється за допомогою інтерфейсу I²C або SPI, що забезпечує достатню швидкість обміну даними та простоту реалізації. У програмному забезпеченні передбачається ініціалізація датчика, встановлення діапазонів вимірювань і частоти опитування, а також калібрування нульових зсувів.

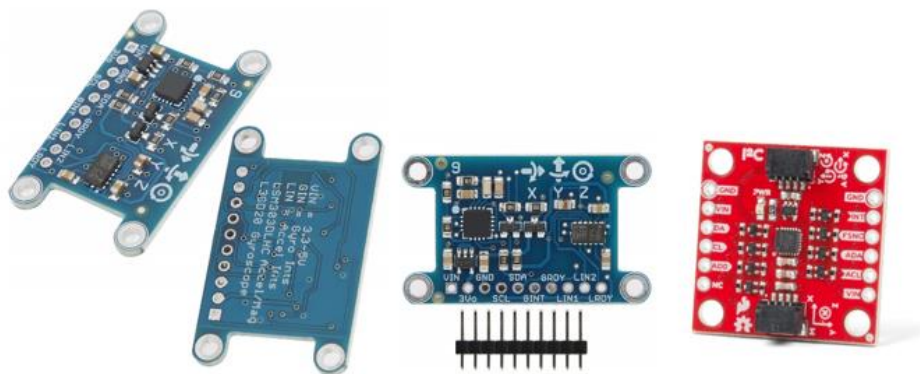


Рисунок 3.2 - Модуль IMU для вимірювання прискорень та кутових швидкостей

Для реалізації інерційних вимірювань у розроблюваній автоматизованій системі доцільно використовувати інтегрований інерційний вимірювальний модуль типу IMU, наприклад MPU6050, MPU9250 або їх функціональні аналоги [27]. Такі модулі поєднують у одному компактному корпусі декілька сенсорів і забезпечують комплексне вимірювання параметрів руху транспортного засобу. Зокрема, MPU6050 містить тривісний акселерометр і тривісний гіроскоп, що дозволяє визначати лінійні прискорення та кутові швидкості обертання, а MPU9250 додатково оснащений магнітометром, який забезпечує вимірювання напрямку магнітного поля Землі та визначення азимуту руху.

Акселерометр, вбудований у такі IMU-модулі, підтримує кілька діапазонів вимірювання, що зазвичай становлять ± 2 g, ± 4 g, ± 8 g та ± 16 g. Це дозволяє адаптувати сенсор як до вимірювання малих прискорень при рівномірному русі, так і до значних перевантажень, що виникають під час різкого гальмування або маневрування. Чутливість акселерометра змінюється залежно від обраного діапазону та забезпечує достатню роздільну здатність для точного фіксування навіть незначних змін прискорення. Висока частота оновлення даних, яка може досягати 1 кГц, робить можливим застосування таких сенсорів у системах реального часу, зокрема в алгоритмах стабілізації та аналізу динаміки руху.

Гіроскоп призначений для вимірювання кутових швидкостей і зазвичай підтримує діапазони ± 250 , ± 500 , ± 1000 та ± 2000 градусів за секунду. Це дозволяє охопити як плавні повороти транспортного засобу, так і різкі маневри. Завдяки високій чутливості та стабільності показників гіроскоп є основним джерелом інформації про кутову динаміку руху, зокрема про швидкість повороту навколо вертикальної осі, що безпосередньо використовується в системах курсової стабілізації та ESC. Разом з акселерометром гіроскоп формує базу для оцінювання орієнтації та просторового положення транспортного засобу.

					ДП.АКІТ. 10659818.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

IMU-модулі типу MPU6050 і MPU9250 оснащені вбудованими аналого-цифровими перетворювачами та цифровими інтерфейсами зв'язку, що значно спрощує їх інтеграцію з мікроконтролерами. Найчастіше використовується інтерфейс I²C, який дозволяє підключати декілька пристроїв до однієї шини та забезпечує достатню швидкість передавання даних для більшості транспортних застосувань. У випадку MPU9250 також підтримується інтерфейс SPI, який забезпечує ще більшу пропускну здатність і може застосовуватися в системах із підвищеними вимогами до швидкодії.

Живлення таких модулів, як правило, здійснюється від напруги 3,3 В, а на багатьох готових платах передбачені вбудовані стабілізатори, що дозволяє підключати їх безпосередньо до джерел 5 В. Споживання енергії є відносно невеликим і становить кілька міліампер у робочому режимі, що робить IMU-модулі придатними для застосування в енергоефективних вбудованих системах. Робочий температурний діапазон, зазвичай від -40 °C до +85 °C, відповідає вимогам до автомобільної електроніки та дозволяє експлуатувати сенсори в різних кліматичних умовах.

Важливою особливістю IMU-модулів є можливість програмного калібрування та компенсації похибок. Під час ініціалізації системи можна визначити нульові зсуви акселерометра та гіроскопа, а також врахувати температурні впливи, що істотно підвищує точність і стабільність вимірювань у процесі тривалої роботи. Це особливо важливо для транспортних застосувань, де навіть незначні похибки можуть накопичуватися та впливати на результати оцінювання руху.

Завдяки поєднанню широких діапазонів вимірювання, високої частоти оновлення даних, малих габаритів і низького енергоспоживання, IMU-модулі типу MPU6050 та MPU9250 є ефективним рішенням для мультисенсорних систем транспортних засобів. Вони забезпечують отримання детальної інформації про динаміку руху, яка надалі використовується в алгоритмах фільтрації та злиття даних разом із GPS та іншими сенсорами. Це дозволяє формувати точні та надійні оцінки положення, швидкості та орієнтації

					ДП.АКІТ. 10659818.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

транспортного засобу, що є необхідною умовою для реалізації сучасних систем допомоги водієві та підвищення безпеки руху.

Датчики швидкості обертання коліс (рисунок 3.3) призначені для визначення лінійної швидкості руху та виявлення пробуксовки або блокування коліс. Як правило, використовуються датчики на основі ефекту Холла або індуктивні датчики. Вони формують імпульсні сигнали, частота яких пропорційна швидкості обертання колеса. Такі дані важливі для систем контролю курсу, ABS/ESC, а також для алгоритмів злиття даних у мультисенсорній системі. Підключення таких датчиків до мікроконтролера здійснюється через цифрові входи з використанням апаратних лічильників або таймерів для вимірювання частоти та періоду сигналу. Це дозволяє забезпечити точний і стабільний підрахунок швидкості навіть за високих швидкостей обертання.



Рисунок 3.3 - Датчик швидкості обертання коліс (Hall-сенсор)

Для вимірювання швидкості обертання коліс у розроблюваній системі доцільно використовувати датчик на основі ефекту Холла, який є одним із найпоширеніших та найнадійніших рішень у транспортній електроніці. Такі датчики широко застосовуються в системах ABS, ESC та інших підсистемах керування рухом, оскільки вони забезпечують високу точність, швидкодію та стійкість до зовнішніх впливів. Типовим представником є цифровий Hall-датчик типу A3144 або його аналоги, які формують імпульсний сигнал при проходженні магнітного поля повз чутливий елемент сенсора [28].

Принцип роботи датчика полягає в реєстрації змін магнітного поля, що створюється магнітом або зубчастим магнітним кільцем, закріпленим на колесі чи його валу. Під час обертання колеса магніт періодично проходить повз датчик, у результаті чого на його виході формується серія прямокутних імпульсів. Частота цих імпульсів є прямо пропорційною кутовій швидкості обертання колеса. Знаючи кількість імпульсів на один оберт та геометричні параметри колеса, можна обчислити лінійну швидкість руху транспортного засобу.

Датчики цього типу мають цифровий вихідний сигнал, що значно спрощує їх підключення до мікроконтролера. Зазвичай вони працюють від напруги живлення 3,3 В або 5 В і можуть безпосередньо підключатися до цифрових входів контролера. Для обробки сигналу використовуються входи з апаратною підтримкою переривань або таймери-лічильники, які дозволяють точно визначати частоту імпульсів або період між ними. Такий підхід забезпечує високу точність вимірювання навіть за значних швидкостей обертання.

Однією з важливих характеристик датчиків швидкості обертання коліс є широкий робочий діапазон частот. Вони здатні коректно працювати як за малих швидкостей, коли імпульси з'являються з невеликою частотою, так і за високих швидкостей руху, коли частота сигналу може досягати кількох кілогерц. Роздільна здатність вимірювання визначається кількістю магнітних міток на одному оберті колеса: чим їх більше, тим точніше можна визначити зміну швидкості.

Такі датчики характеризуються високою надійністю та стійкістю до несприятливих умов експлуатації. Вони малочутливі до пилу, бруду, вологи та вібрацій, що є надзвичайно важливим для застосування в транспортних засобах. Типовий температурний діапазон їх роботи становить від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$, що відповідає вимогам до автомобільної електроніки та дозволяє використовувати їх у різних кліматичних умовах.

					ДП.АКІТ. 10659818.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Завдяки простоті конструкції та цифровому виходу, датчики швидкості обертання коліс легко інтегруються у мультисенсорні системи. Дані, отримані з них, можуть безпосередньо використовуватися для визначення швидкості руху, виявлення пробуксовки або блокування коліс, а також як важливе джерело інформації для алгоритмів злиття сенсорних даних разом із IMU та GPS. У таких алгоритмах інформація про швидкість обертання коліс дозволяє підвищити точність оцінювання швидкості та динаміки руху транспортного засобу, особливо в умовах, коли GPS-сигнал нестабільний або відсутній.

Датчики тиску та температури (рисунок 3.4) застосовуються для контролю технічного стану транспортного засобу та умов навколишнього середовища. Наприклад, датчики тиску можуть використовуватися для контролю тиску в шинах або гідравлічних системах, а температурні сенсори – для вимірювання температури повітря, гальмівних механізмів або інших вузлів. Як приклади можуть бути використані цифрові датчики типу BMP280, BME280 або DS18B20. Підключення таких датчиків зазвичай здійснюється через інтерфейси I²C або OneWire, що спрощує апаратну реалізацію та дозволяє підключати декілька сенсорів до однієї шини.



Рисунок 3.4 - Комбінований датчик тиску/температури/вологості

Модулі BME280 поєднують три сенсорні компоненти в одному корпусі: температуру, барометричний тиск та відносну вологість [29]. Вони підтримують стандартні цифрові інтерфейси I²C та SPI, що дозволяє легко підключати їх до мікроконтролерів, таких як STM32, ESP32 або Arduino. Діапазон вимірювання температури таких датчиків зазвичай становить від

приблизно $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ з точністю близько $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, а вимірювання тиску охоплює діапазон приблизно від 300 до 1100 гПа з точністю близько $\pm 1\text{ гПа}$. Вологість може вимірюватись у межах від 0 % до 100 % з точністю близько $\pm 3\text{ }\%$ відносної вологості.

Оскільки атмосферний тиск змінюється із зміною висоти, датчики типу BME280 також використовуються для оцінювання приблизної висоти над рівнем моря, що може бути корисно для аналізу зміни положення транспортного засобу. Крім того, такі модулі мають дуже низьке енергоспоживання: у сплячому режимі воно може бути менше 1 μA , що робить їх придатними для автономних і енергоефективних систем.

BMP280 - більш базовий варіант, який вимірює лише температуру і атмосферний тиск, але не підтримує вимірювання вологості [30]. Він також працює через інтерфейси I²C або SPI і характеризується аналогічними робочими діапазонами та точністю вимірювань температури і тиску, що робить його популярним вибором для барометричних і метеодатчиків у системах контролю навколишнього середовища.

GPS-модуль (рисунок 3.5) використовується для визначення географічного положення, швидкості та напрямку руху транспортного засобу в глобальній системі координат.

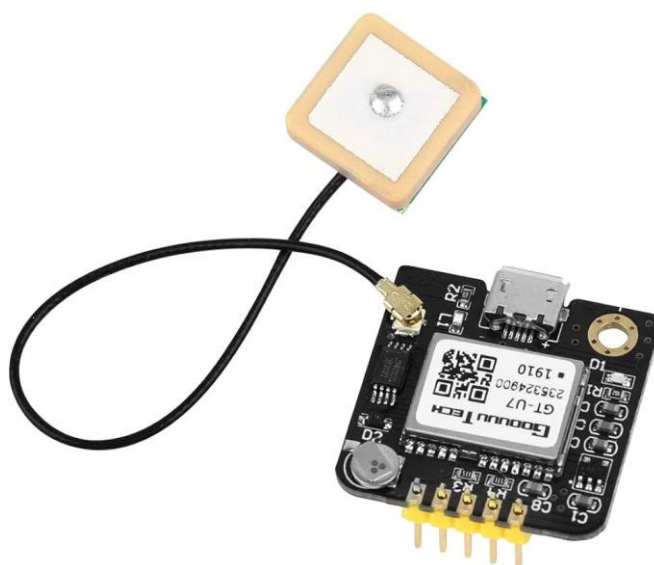


Рисунок 3.5 - GPS-модуль з антеною

					ДП.АКІТ. 10659818.00.00.000 ПЗ	Арк. 45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Типовими представниками є модулі на базі чипів u-blox або їх аналогів. Підключення GPS здійснюється через послідовний інтерфейс UART, по якому передаються стандартні повідомлення формату NMEA. Отримані координати та швидкість використовуються як окремо, так і в поєднанні з даними IMU в алгоритмах злиття сенсорних даних для підвищення точності навігаційних параметрів. Дані GPS використовуються як вхідні значення для алгоритмів злиття сенсорних даних (sensor fusion) разом з IMU для підвищення точності позиціонування.

Для реалізації навігаційних функцій у мультисенсорній системі використовується GPS-модуль на базі чипів u-blox, наприклад шоу-версії NEO-M8N або NEO-6M [31]. Серія NEO-M8N підтримує одночасний трекінг кількох глобальних навігаційних систем, що забезпечує вищу точність позиціонування і швидше встановлення зв'язку з супутниками, тоді як модулі на базі NEO-6M є більш бюджетними, але також забезпечують стабільні координатні дані для алгоритмів оцінювання швидкості та маршруту руху. Такий GPS-модуль підключається до мікроконтролера через UART-інтерфейс та передає стандартні навігаційні дані формату NMEA для подальшого злиття з іншою сенсорною інформацією.

Сенсори навколишнього середовища (температури, вологості, атмосферного тиску) доповнюють систему інформацією про умови експлуатації транспортного засобу. Вони можуть бути реалізовані на базі комбінованих датчиків, наприклад BME280, які одночасно вимірюють кілька параметрів та передають дані по I²C. Це зменшує кількість підключень і спрощує апаратну частину системи.

Загальна схема підключення датчиків до мікроконтролера (рисунок 3.6) передбачає використання різних інтерфейсів обміну даними залежно від типу сенсора:

- I²C – для IMU, датчиків тиску, температури та вологості;
- SPI – за потреби підключення високошвидкісних сенсорів;
- UART – для GPS-модуля та комунікаційних модулів;

- цифрові входи з таймерами – для датчиків швидкості обертання коліс.

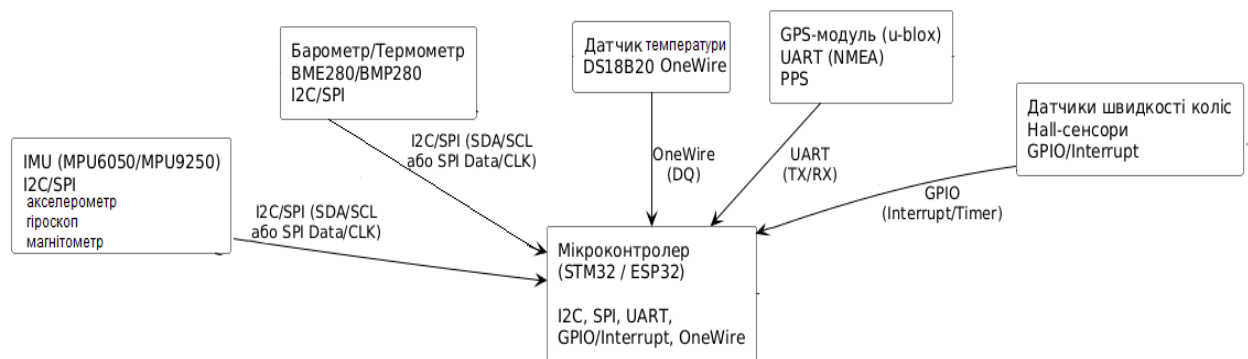


Рисунок 3.6 - Схема підключення датчиків до мікроконтролера

Такий підхід дозволяє раціонально розподілити навантаження на інтерфейси мікроконтролера та забезпечити надійний паралельний обмін даними з декількома пристроями.

Взаємодія з датчиками та їх обробка здійснюється центральним контролером, що реалізує алгоритми фільтрації та злиття даних, забезпечуючи високу точність вимірювань та їх кореляцію в межах мультисенсорної системи.

У даному розділі наведено приклади типових модулів датчиків, що входять до складу сенсорного рівня розроблюваної системи. Кожен із них забезпечує вимірювання параметрів руху та умов експлуатації транспортного засобу, які далі обробляються мікроконтролером для оцінювання стану ТЗ.

Обраний набір датчиків і способи їх підключення забезпечують повноту та достовірність інформації про стан і рух транспортного засобу, а також створюють умови для ефективної реалізації алгоритмів попередньої обробки та злиття сенсорних даних. Це підтверджує доцільність використання мультисенсорного підходу та відповідність розроблюваної системи сучасним вимогам до автоматизованих транспортних інформаційно-керувальних систем.

3.3. Реалізація алгоритмів фільтрації та злиття даних

Ефективне функціонування автоматизованої системи збору та обробки даних на базі мультисенсорних вузлів неможливе без використання алгоритмів фільтрації та злиття даних. Основною метою цих алгоритмів є підвищення достовірності та точності вимірювальної інформації, а також формування узагальнених оцінок стану та руху транспортного засобу на основі даних від різнорідних сенсорів. У реальних умовах експлуатації транспортного засобу показники датчиків зазнають впливу шумів, вібрацій, електромагнітних завад і температурних коливань, що зумовлює необхідність попередньої обробки сигналів перед їх використанням у системах аналізу та керування [22, 32, 33].

Алгоритми фільтрації реалізуються на рівні мікроконтролера та застосовуються до кожного каналу вимірювання окремо. Для зменшення впливу високочастотних шумів доцільно використовувати цифрові фільтри нижніх частот, зокрема прості ковзні середні або експоненціальні фільтри. Наприклад, для сигналів акселерометра та гіроскопа застосовується фільтр ковзного середнього, який обчислює усереднене значення за певний інтервал часу. Це дозволяє згладити випадкові коливання сигналу та отримати більш стабільні оцінки прискорень і кутових швидкостей. Для датчиків температури та тиску, які змінюються повільніше, можуть використовуватися фільтри з більшим часовим проміжком, що додатково підвищує точність вимірювань.

Процеси фільтрації та злиття сенсорних даних наочно ілюструються на рисунках 3.7 та 3.8, де показано послідовність обробки сигналів від первинних вимірювань до формування узагальнених оцінок стану транспортного засобу.

На рисунку 3.7 показано процес обробки сигналів від датчиків, який включає масштабування вимірювань, фільтрацію шумів та калібрування. У

					ДП.АКІТ. 10659818.00.00.000 ПЗ	Арк. 48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

результаті формується набір очищених та стабілізованих даних, придатних для подальшого аналізу та злиття.

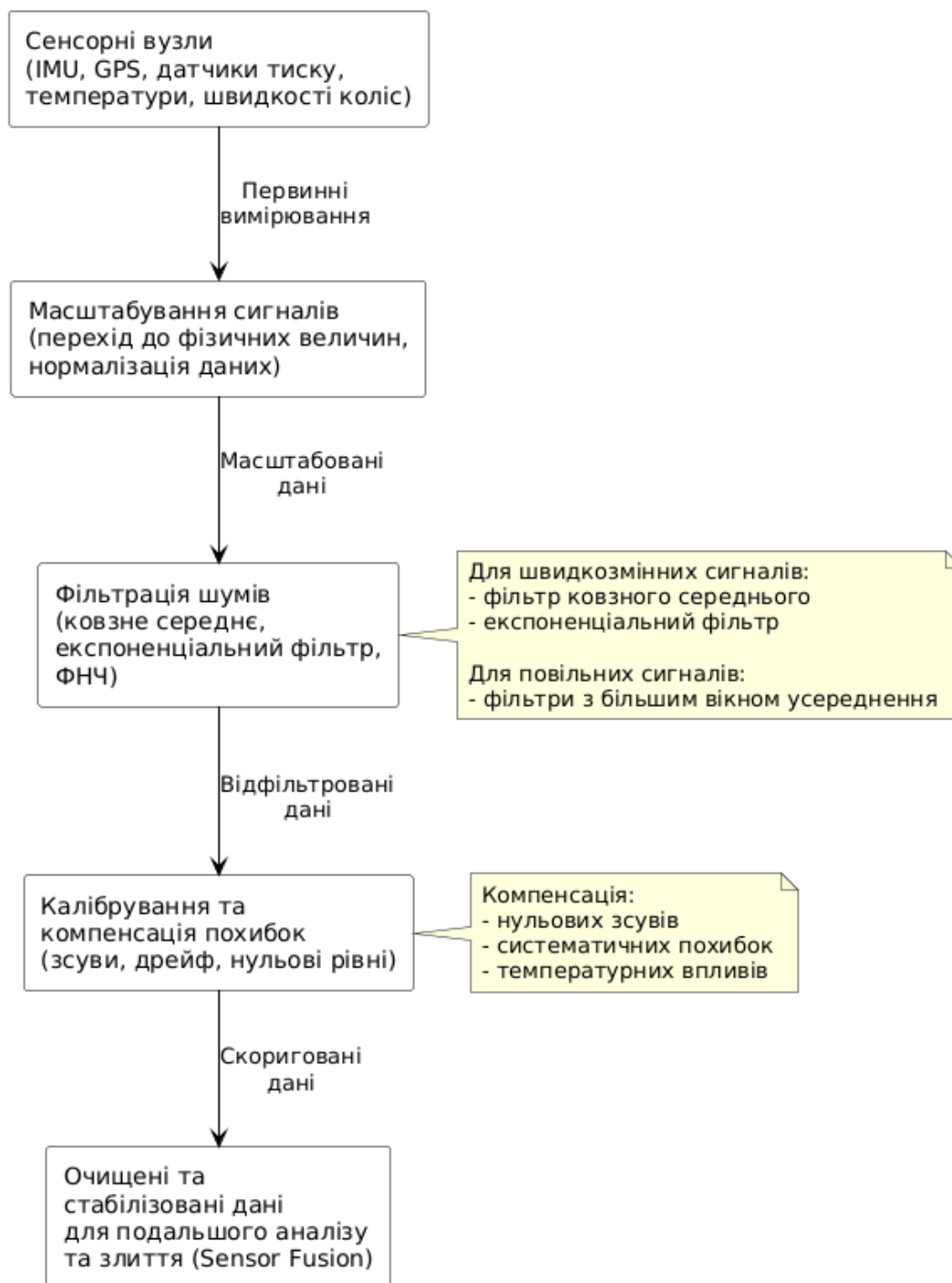


Рисунок 3.7 – Схема реалізації алгоритмів попередньої фільтрації сенсорних даних

Окрім фільтрації, важливим етапом є компенсація систематичних похибок і калібрування датчиків. Для інерційних сенсорів це передбачає

визначення нульових зсувів акселерометра та гіроскопа під час ініціалізації системи, коли транспортний засіб перебуває в нерухомому стані. Отримані значення зсувів зберігаються в пам'яті мікроконтролера та надалі віднімаються від поточних показників. Такий підхід дозволяє значно зменшити накопичення похибок та дрейфу сигналів у процесі тривалої роботи системи.

Після попередньої фільтрації реалізується етап злиття сенсорних даних (sensor fusion) (рисунок 3.8), який полягає в інтеграції інформації від кількох датчиків для формування узагальнених оцінок параметрів руху та стану транспортного засобу. У даній роботі злиття даних передбачає, зокрема, поєднання показників акселерометра, гіроскопа та GPS-модуля. Такий підхід дозволяє компенсувати недоліки окремих сенсорів: інерційні датчики мають високу швидкодію, але схильні до накопичення похибки, тоді як GPS забезпечує абсолютні координати, проте характеризується меншою частотою оновлення та залежністю від умов прийому сигналу.

На рисунку 3.8 подано принцип передавання даних від інерційних сенсорів (IMU) та GPS-модуля за допомогою комплементарного фільтра або фільтра Калмана. Результатом злиття є узагальнена оцінка параметрів руху транспортного засобу, таких як швидкість, положення та напрямок руху.

Одним із найпростіших та водночас ефективних методів злиття даних є комплементарний фільтр. Його принцип полягає в поєднанні швидкодіючих, але менш стабільних даних інерційних сенсорів із повільнішими, проте більш точними даними GPS. Наприклад, орієнтація транспортного засобу може оцінюватися за допомогою гіроскопа, а її довгострокова стабільність забезпечується за рахунок корекції з боку акселерометра або навігаційних даних. Комплементарний фільтр є обчислювально простим і добре підходить для реалізації на мікроконтролерах класу STM32 або ESP32.

Для більш складних і точних оцінок може застосовуватися фільтр Калмана або його спрощені варіанти. Фільтр Калмана дозволяє оцінювати стан системи на основі математичної моделі руху та статистичних

					ДП.АКІТ. 10659818.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

характеристик шумів вимірювань. У межах дипломної роботи можливе використання спрощеного одномірного або багатовимірного фільтра Калмана для поєднання даних швидкості та координат, отриманих від GPS, із прискореннями, виміряними акселерометром. Це забезпечує більш точне та стабільне визначення траєкторії руху транспортного засобу.

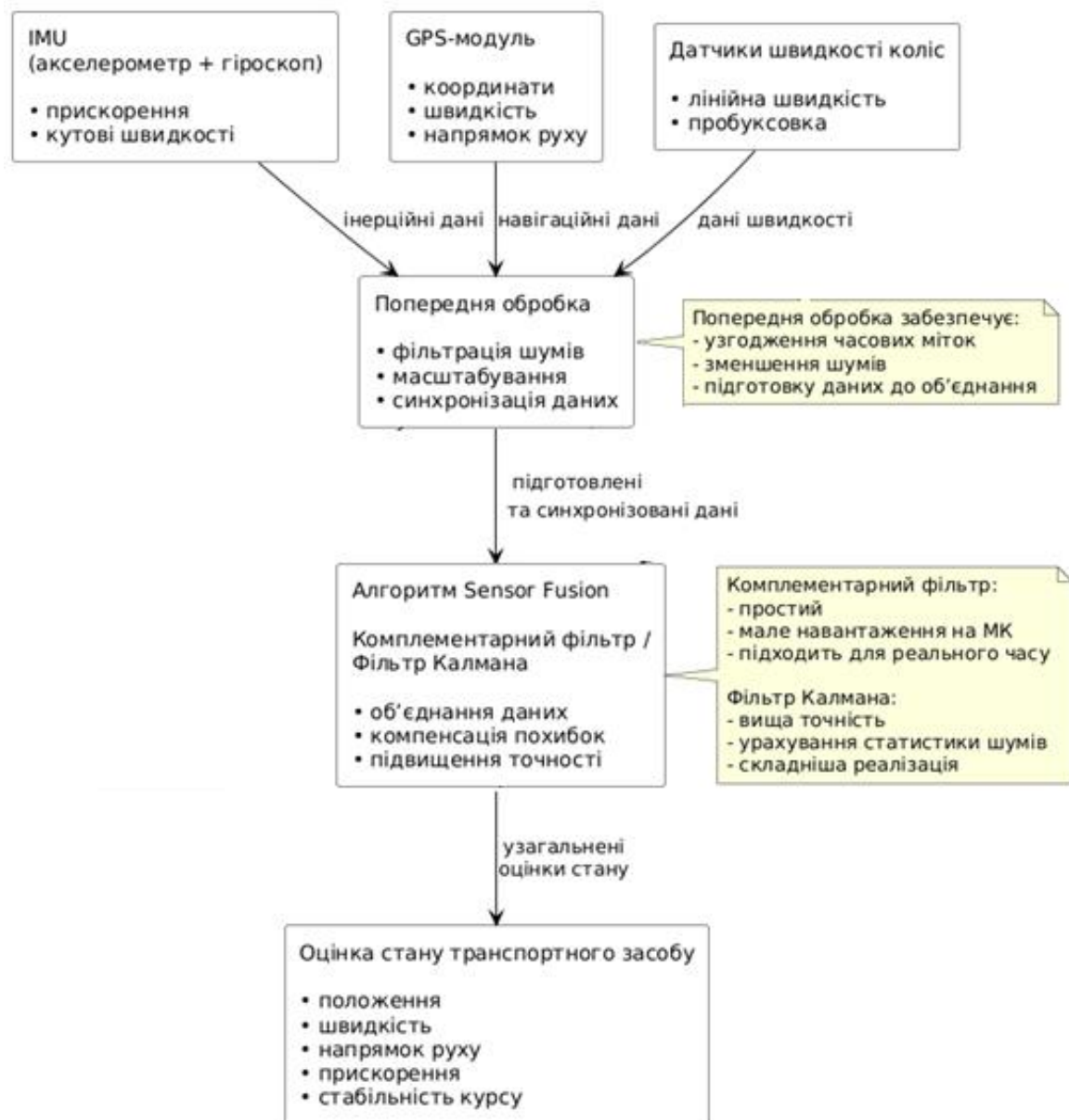


Рисунок 3.8 - Схема злиття сенсорних даних на основі алгоритмів Sensor Fusion

Результатом реалізації алгоритмів злиття даних є формування узагальнених параметрів, таких як швидкість руху, просторове положення,

напрямок, прискорення та показники стабільності. Саме ці параметри використовуються для подальшого аналізу стану транспортного засобу, виявлення потенційно небезпечних ситуацій та формування інформаційних повідомлень для користувача або керуючих сигналів для інших підсистем.

Таким чином, реалізація алгоритмів фільтрації та злиття даних є основним елементом розроблюваної системи. Вона дозволяє перетворити набір розрізнених і зашумлених сигналів від окремих датчиків у структуровану, достовірну та інформативну картину стану транспортного засобу. Застосування таких алгоритмів забезпечує підвищення точності вимірювань, надійності роботи системи та відповідність сучасним вимогам до мультисенсорних систем у транспортній галузі.

3.4. Моделювання та макетування роботи системи

Для перевірки працездатності запропонованої архітектури та алгоритмів збору, фільтрації і злиття сенсорних даних було виконано моделювання роботи автоматизованої системи. Основною метою цього етапу є підтвердження коректності обраних технічних рішень, оцінка взаємодії між окремими модулями системи та демонстрація можливості практичної реалізації розроблюваного мультисенсорного вузла.

На етапі макетування система реалізується у вигляді апаратно-програмного прототипу, який складається з мікроконтролера STM32 або ESP32, набору датчиків (IMU, GPS, датчиків тиску, температури та швидкості обертання коліс) та комунікаційних модулів. Такий підхід дозволяє відтворити функціонування системи в умовах, максимально наближених до реальної експлуатації, і дослідити поведінку алгоритмів у режимі реального часу.

Для програмного моделювання роботи системи застосовано середовище моделювання VisSim v5.0e [34]. Тут сенсорні сигнали можуть генеруватися у вигляді тестових послідовностей, що імітують рух

					ДП.АКІТ. 10659818.00.00.000 ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

транспортного засобу, прискорення, повороти та зміни швидкості. Це дозволяє перевірити стійкість алгоритмів фільтрації та злиття даних без необхідності використання реального апаратного обладнання на початковому етапі.

На рисунку 3.9 відображено результати моделювання сенсорної системи у середовищі VisSim v5.0e. Показано істинну швидкість руху, сигнали від IMU та GPS після фільтрації, а також результат злиття сенсорних даних. Видно, що алгоритм Sensor Fusion дозволяє отримати більш стабільну та точну оцінку швидкості порівняно з окремими сенсорними каналами.

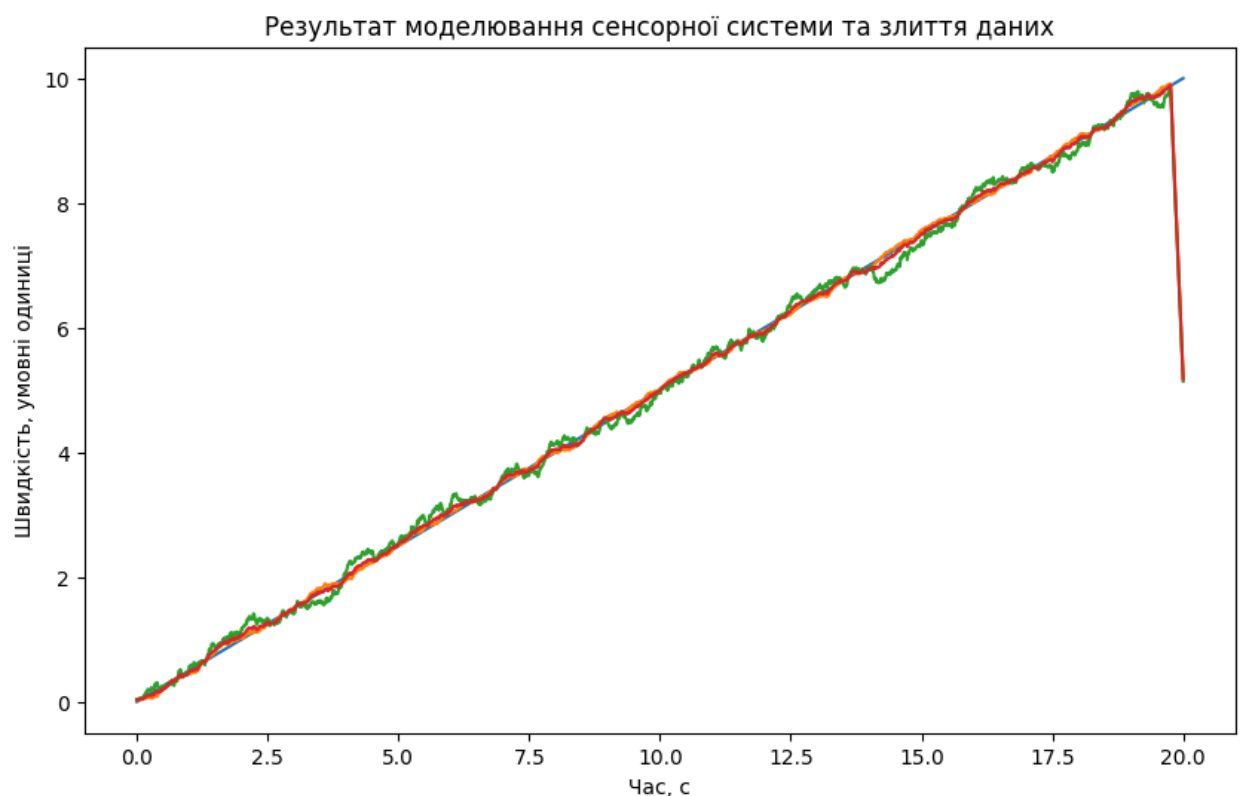


Рисунок 3.9 - Результати моделювання сенсорної системи у середовищі
VisSim v5.0e

На рисунку 3.9 одна крива відповідає істинній швидкості руху транспортного засобу, яка задається генератором руху (Ramp). Вона є еталонною. Друга крива – це сигнал від IMU після фільтрації, який добре відстежує динаміку, але містить невеликі коливання через шум. Третя крива – це сигнал від GPS після фільтрації, який більш «гладкий», але менш

чутливий до швидких змін. Четверта крива є результатом злиття сенсорних даних (Sensor Fusion), який поєднує швидку реакцію IMU та стабільність GPS.

Отримані результати підтверджують ефективність використання комплементарного фільтра для злиття даних IMU та GPS. Злитий сигнал характеризується меншою зашумленістю, ніж сигнал акселерометра, та швидшою реакцією на зміни швидкості порівняно з GPS-каналом.

					ДП.АКІТ. 10659818.00.00.000 ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВИСНОВКИ

У роботі розроблено автоматизовану систему збору та обробки даних на базі мультисенсорних вузлів для транспортних засобів. Запропонована архітектура системи, побудована за модульним принципом із виділенням сенсорного, обчислювального та комунікаційного рівнів, відповідає сучасним тенденціям розвитку інтелектуальних транспортних систем і забезпечує можливість гнучкого розширення та масштабування функціональних можливостей.

У ході роботи обґрунтовано вибір основних сенсорних компонентів, зокрема IMU-модулів, GPS-приймача, датчиків швидкості обертання коліс та датчиків параметрів навколишнього середовища. Показано, що використання цифрових інтерфейсів I²C, UART, OneWire та GPIO дозволяє ефективно організувати збір даних від різнорідних сенсорів і забезпечити їх інтеграцію в єдину вимірювальну систему на базі мікроконтролера.

Розроблено алгоритм функціонування системи, який включає етапи збору вимірювальної інформації, попередньої фільтрації сигналів, злиття сенсорних даних та формування узагальнених оцінок стану і руху транспортного засобу. Особливу увагу приділено алгоритмам фільтрації та sensor fusion, які дозволяють зменшити вплив шумів, похибок окремих сенсорів та підвищити достовірність отриманих результатів. Показано, що застосування комплементарних фільтрів є ефективним і відносно простим способом злиття даних від IMU та GPS.

Виконано моделювання роботи сенсорної системи у середовищі VisSim v5.0e, що дало змогу наочно проаналізувати поведінку сигналів, оцінити ефективність алгоритмів фільтрації та злиття даних, а також підтвердити працездатність запропонованої архітектури. Отримані результати демонструють, що злитий сигнал характеризується більшою стабільністю та точністю порівняно з окремими сенсорними каналами, що є важливим для підвищення безпеки та надійності функціонування транспортних систем.

					ДП.АКІТ. 10659818.00.00.000 ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

У результаті виконання дипломної роботи досягнуто поставленої мети та розв'язано основні задачі, зокрема:

- проаналізовано сучасний стан і тенденції розвитку мультисенсорних систем у транспортних засобах;
- розроблено архітектуру автоматизованої системи збору та обробки даних;
- обґрунтовано вибір апаратних засобів і способів їх підключення;
- сформовано алгоритм роботи системи та реалізовано підходи до фільтрації і злиття сенсорних даних;
- виконано імітаційне моделювання та аналіз отриманих результатів.

Отримані в роботі результати можуть бути використані як основа для подальшої практичної реалізації експериментального зразка або прототипу системи, а також для розширення функціональних можливостей у напрямку інтеграції з технологіями ADAS і Car-to-X. Таким чином, дана робота має не лише теоретичну, а й практичну цінність і може слугувати підґрунтям для подальших досліджень та інженерних розробок у галузі автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

					ДП.АКІТ. 10659818.00.00.000 ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гриценко В. І., Кулик А. С. Автоматизовані системи керування транспортними засобами. - Київ : Наукова думка, 2018. - 312 с.
2. Кравець В. М., Бондаренко О. І. Сенсорні системи та вимірювальні перетворювачі в автоматизації. - Харків : ХНУРЕ, 2019. - 256 с.
3. Баранов О. А., Мельник О. М. Інтелектуальні транспортні системи: принципи побудови та застосування. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. - 198 с.
4. Liu J., Qi J. «A Survey of Sensor Fusion Techniques for Perception in Autonomous Vehicles». IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems, 2020.
5. Z. Zhou, M. Brown, H. Zhang, L. Zhang. «A Review of Deep Learning for Autonomous Driving». Neurocomputing, Elsevier, 2020.
6. Ma Y., Li Y., «Research on Automotive Sensor System of ADAS». International Journal of Automotive Technology, 2018.
7. Ковальчук М. С., Яремчук О. М. Мультисенсорні системи збору та обробки інформації // Вісник Національного технічного університету України «КПІ». Серія: Приладобудування. - 2019. - № 57. - С. 45–52.
8. Гуменюк А. В., Стахів Р. І. Злиття сенсорних даних у системах керування рухом транспортних засобів // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. - 2020. - № 4. - С. 32–38.
9. Мокін В. Б., Мокін О. В. Мікроконтролерні системи в автоматизації та вимірювальній техніці. - Вінниця : ВНТУ, 2017. - 284 с.
10. Chen L., Lin M., et al. «Big Data Analytics for Connected Vehicles». IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 2019.
11. ISO 26262:2018. Електронний ресурс. - Режим доступу: <https://www.iso.org/standard/68383.html>
12. ISO 21448:2019. Електронний ресурс. - Режим доступу: <https://www.iso.org/standard/77490.html>

					ДП.АКІТ. 10659818.00.00.000 ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

13. ISO 11452-1:2025. Електронний ресурс. - Режим доступу: <https://www.iso.org/standard/83225.html>
14. ISO/SAE 21434:2021. Електронний ресурс. - Режим доступу: <https://www.iso.org/standard/70918.html>
15. Надійність програмного забезпечення. Електронний ресурс. – Режим доступу: <https://vda-qmc.de>
16. ISO/IEC 25010:2023. Електронний ресурс. - Режим доступу: <https://www.iso.org/standard/78176.html>
17. IEEE 802.11p. Бездротовий зв'язок між транспортними засобами та інфраструктурою. Електронний ресурс. - Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11p
18. Зв'язок між авто, інфраструктурою та хмарою через LTE/5G. Електронний ресурс. – Режим доступу: <https://www.3gpp.org>
19. ISO 11898 - 1:2024. Режим доступу: <https://www.iso.org/standard/86384.html>
20. Жук О. В., Пилипчук О. С. Архітектура автоматизованих систем збору даних. - Тернопіль : ТНТУ, 2016. - 190 с.
21. Гуменюк А. В., Стахів Р. І. Злиття сенсорних даних у системах керування рухом транспортних засобів // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. - 2020. - № 4. - С. 32–38.
22. Ковальчук М. С., Яремчук О. М. Мультисенсорні системи збору та обробки інформації // Вісник Національного технічного університету України «КПІ». Серія: Приладобудування. - 2019. - № 57. - С. 45–52.
23. Литвин В. В., Пелешишин А. М. Інформаційні технології в інтелектуальних транспортних системах. - Львів : Львівська політехніка, 2018. - 260 с.
24. Гриценко В. І., Кулик А. С. Автоматизовані системи керування транспортними засобами. - Київ : Наукова думка, 2018. - 312 с.

					ДП.АКІТ. 10659818.00.00.000 ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

25. Баранов О. А., Мельник О. М. Інтелектуальні транспортні системи: принципи побудови та застосування. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. - 198 с.

26. Мокін В. Б., Мокін О. В. Мікроконтролерні системи в автоматизації та вимірювальній техніці. - Вінниця : ВНТУ, 2017. - 284 с.

27. Модуль GY-9250 гіроскоп/акселерометр/магнітометр MPU-9250 MPU9250 Електронний ресурс. – Режим доступу: <https://megashara.biz/ua/p1866918611-modul-9250-giroskopakselerometrmagnitometr.html>

28. Датчики ABS https://shop.tesma.com.ua/catalogs/sistema-elektricheskaya-datchiki-abs.html?utm_source

29. Барометр BME280 5В I2C (датчик температури, вологості, тиску) Електронний ресурс. – Режим доступу: <https://arduino.ua/prod1930-bme280-5v-i2c-datchik-temperatyri-vlajnosti-davleniya>

30. Барометр BMP280 3.3В (датчик атмосферного тиску) Електронний ресурс. – Режим доступу: <https://arduino.ua/prod1758-barometr-datchik-atmosfernogo-davleniya-na-bmp280>

31. Універсальні модулі GNSS Електронний ресурс. – Режим доступу: https://www.u-blox.com/en/product/neo-m8-series?utm_source.com

32. Руденко Ю. О., Шевченко С. В. Методи фільтрації та обробки сигналів у сенсорних системах. - Львів : Львівська політехніка, 2016. - 220 с.

33. Liu W., Pasiliao E., Wu Y. Multi-Sensor Data Fusion Based on Kalman Filter for Autonomous Vehicle Navigation // Sensors. - 2019.

34. Бойко І. В., Довгополий О. М. Моделювання систем керування у середовищах VisSim та MATLAB/Simulink. - Київ : НТУУ «КПІ», 2015. - 172с.

					ДП.АКІТ. 10659818.00.00.000 ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		